

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2002118043  
PUBLICATION DATE : 19-04-02

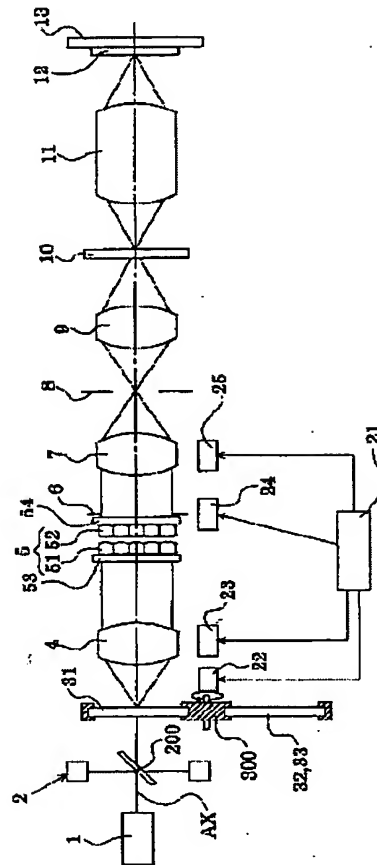
APPLICATION DATE : 05-10-00  
APPLICATION NUMBER : 2000305644

APPLICANT : NIKON CORP;

INVENTOR : SHIBUYA MASATO;

INT.CL. : H01L 21/027 G02B 3/00 G02B 19/00  
G03F 7/20

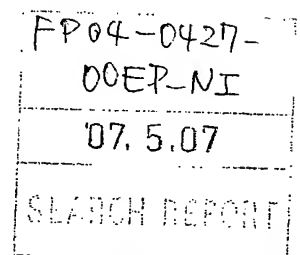
TITLE : ILLUMINATION OPTICAL DEVICE AND  
ALIGNER USING THE SAME



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an illumination optical device, which can appropriately suppress the decreased uniformity of illumination distribution due to speckled interference fringes, even if the number of divided wave fronts is increased for example.

SOLUTION: This illumination optical device is provided with a light source means (1) for supplying a coherent light, a multiple light source forming means (5) for forming a number of light sources on the basis of light fluxed from the light source means (1), and light guiding optical systems (7, 9, and 11) for leading the light fluxes from the light source to surface (10) and (12) to be irradiated. In addition, it is also provided with a means (51) for giving a phase difference that gives a specified phase difference between a first group of light fluxes, forming a first group of light source and a second group of light fluxes forming a second group of light source among the light sources.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-118043

(P2002-118043A)

(43) 公開日 平成14年4月19日 (2002.4.19)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード* (参考)
H 0 1 L 21/027		C 0 2 B 3/00	A 2 H 0 5 2
G 0 2 B 3/00		19/00	5 F 0 4 6
	19/00		
G 0 3 F 7/20	5 2 1	C 0 3 F 7/20	5 2 1
		H 0 1 L 21/30	5 1 5 D

審査請求 未請求 請求項の数 8 の L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2000-305644(P2000-305644)

(22) 出願日 平成12年10月5日 (2000.10.5)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 豊田 光紀

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(72) 発明者 谷津 修

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(74) 代理人 100095256

弁理士 山口 孝雄

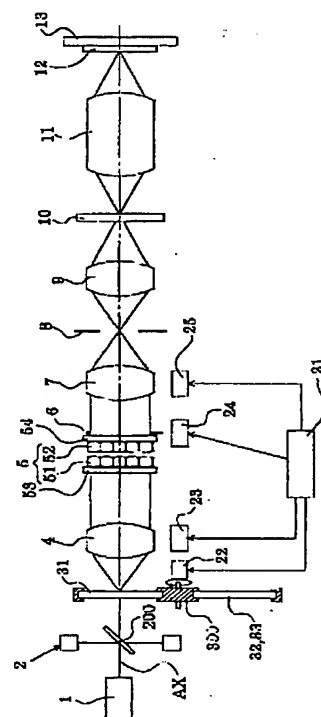
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 照明光学装置および該照明光学装置を備えた露光装置

## (57) 【要約】

【課題】 たとえば波面分割数を増大させても、スペックル状干渉縞に起因する照度分布の均一性の悪化を良好に抑えることのできる照明光学装置。

【解決手段】 コヒーレント光を供給するための光源手段(1)と、光源手段からの光束に基づいて多数の光源を形成するための多光源形成手段(5)と、多数の光源からの光束を被照射面(10、12)へ導くための導光光学系(7、9、11)とを備えた照明光学装置。多数の光源のうち第1群の光源を形成する第1群の光束と第2群の光源を形成する第2群の光束との間に所定の位相差を付与するための位相差付与手段(51)を備えている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 コヒーレント光を供給するための光源手段と、該光源手段からの光束に基づいて多数の光源を形成するための多光源形成手段と、前記多数の光源からの光束を被照射面へ導くための導光光学系とを備えた照明光学装置において、

前記多数の光源のうち少なくとも第1群の光源を形成する第1群の光束と第2群の光源を形成する第2群の光束との間に、前記コヒーレント光の時間的可干渉距離よりも実質的に短い光路長差を付与することによって、前記第1群の光束と前記第2群の光束との間に所定の位相差を付与するための位相差付与手段を備えていることを特徴とする照明光学装置。

【請求項2】 前記光路差は、前記時間的可干渉距離の1/10以下であることを特徴とする請求項1に記載の照明光学装置。

【請求項3】 前記多光源形成手段は、多数の微小レンズ要素を有する波面分割型オプティカルインテグレータを有し、

前記波面分割型オプティカルインテグレータを前記位相差付与手段として機能させるために、前記多数の微小レンズ要素のうち、前記第1群の光源に対応する第1群の微小レンズ要素と、前記第2群の光源に対応する第2群の微小レンズ要素とは、光軸に沿って互いに異なる光学的厚さを有することを特徴とする請求項1または2に記載の照明光学装置。

【請求項4】 前記第1群の微小レンズ要素と前記第2群の微小レンズ要素とは、互いに異なる焦点距離を有することを特徴とする請求項3に記載の照明光学装置。

【請求項5】 前記第1群の微小レンズ要素と前記第2群の微小レンズ要素とは、互いに異なる大きさの入射面を有することを特徴とする請求項3に記載の照明光学装置。

【請求項6】 前記位相差付与手段は、照明光路中に配置された位相板を有し、

前記位相板は、前記第1群の光束が通過する第1群の微小領域と、前記第2群の光束が通過する第2群の微小領域とを少なくとも有し、前記第1群の微小領域と前記第2群の微小領域とが光軸に沿って互いに異なる光学的厚さを有することを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1項に記載の照明光学装置。

【請求項7】 マスク上に設けられたパターンの像を感光性基板上へ転写する露光装置において、

前記マスクを照明するための請求項1乃至6のいずれか1項に記載の照明光学装置と、

前記マスクのパターンの像を前記感光性基板上に形成するための投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

【請求項8】 請求項7に記載の露光装置を用いて前記マスクのパターンを前記感光性基板上に露光する露光工

程と、該露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は照明光学装置および該照明光学装置を備えた露光装置に関し、特に半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスをリソグラフィ工程で製造するための露光装置に好適な照明光学装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】この種の典型的な露光装置においては、光源から射出された光束がマイクロフライアイレンズまたはマイクロレンズアレイ（以下、単に「マイクロフライアイ」という）に入射し、その後側焦点面に多数の光源からなる二次光源を形成する。二次光源からの光束は、マイクロフライアイの後側焦点面の近傍に配置された開口絞りを介して制限された後、コンデンサーレンズに入射する。開口絞りは、所望の照明条件（露光条件）に応じて、二次光源の形状または大きさを所望の形状または大きさに制限する。

【0003】コンデンサーレンズにより集光された光束は、所定のハターンが形成されたマスクを重畳的に照明する。マスクのパターンを透過した光は、投影光学系を介してウェハ上に結像する。こうして、ウェハ上には、マスクパターンが投影露光（転写）される。なお、マスクに形成されたパターンは高集積化されており、この微細パターンをウェハ上に正確に転写するにはウェハ上において均一な照度分布を得ることが不可欠である。

【0004】近年においては、マイクロフライアイの射出側に配置された開口絞りの開口部（光透過部）の大きさを変化させることにより、照明のコヒーレンシ（ $\sigma$ 値＝開口絞り径／投影光学系の瞳径、あるいは $\sigma$ 値＝照明光学系の射出側開口数／投影光学系の入射側開口数）を変化させる技術が注目されている。また、マイクロフライアイの射出側に配置された開口絞りの開口部の形状を輪帯状や四つ穴状（すなわち4極状）に設定することにより、マイクロフライアイにより形成される二次光源の形状を輪帯状や4極状に制限して、投影光学系の焦点深度や解像力を向上させる技術が注目されている。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところで、二次光源の形状を輪帯状や4極状に制限して変形照明（輪帯照明や4極照明）を行うために、マイクロフライアイにより形成された比較的大きな二次光源からの光束を輪帯状や4極状の開口部を有する開口絞りによって単に制限すると、二次光源からの光束の相当部分が開口絞りで遮蔽され、照明（露光）に寄与することがない。その結果、開口絞りにおける光量損失により、マスクおよびウェハ上での照度が低下し、露光装置としてのスループットも低

下する。

【0006】そこで、たとえば回折光学素子のような光束変換素子を介して輪帯状や4極状に変換した光束をマイクロフライアイに入射させ、マイクロフライアイの射出側に輪帯状または4極状の二次光源を形成する構成が考えられる。また、マスクおよびウェハ上での照度ムラを低減するとともに、輪帯状または4極状の二次光源の輪郭の連続性を向上させるために、マイクロフライアイの波面分割数を増大させる構成が考えられる。

【0007】しかしながら、マイクロフライアイを構成する各微小レンズのサイズを小さく設定することにより波面分割数を増大させると、隣接する2つの微小レンズを介した2つの光の空間的コヒーレンシー（可干渉性）が高くなる。その結果、被照射面であるマスク上およびウェハ上においてスペックル状干渉縞が発生し、ひいては被照射面における照度分布の均一性が悪化する。

【0008】本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、たとえば照度ムラを低減するとともに二次光源の輪郭の連続性を向上させるために波面分割数を増大させても、スペックル状干渉縞に起因する照度分布の均一性の悪化を良好に抑えることのできる照明光学装置および該照明光学装置を備えた露光装置を提供することを目的とする。また、本発明は、スペックル状干渉縞に起因する照度分布の均一性の悪化が良好に抑えられた変形照明を用いて、高いスループットおよび高い解像力で良好なマイクロデバイスを製造することのできるマイクロデバイス製造方法を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明の第1発明では、コヒーレント光を供給するための光源手段と、該光源手段からの光束に基づいて多数の光源を形成するための多光源形成手段と、前記多数の光源からの光束を被照射面へ導くための導光光学系とを備えた照明光学装置において、前記多数の光源のうち少なくとも第1群の光源を形成する第1群の光束と第2群の光源を形成する第2群の光束との間に、前記コヒーレント光の時間的干渉距離よりも実質的に短い光路長差を付与することによって、前記第1群の光束と前記第2群の光束との間に所定の位相差を付与するための位相差付与手段を備えていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

【0010】第1発明の好ましい態様によれば、前記光路差は、前記時間的干渉距離の1/10以下である。また、前記多光源形成手段は、多数の微小レンズ要素を有する波面分割型オブティカルインテグレータを有し、前記波面分割型オブティカルインテグレータを前記位相差付与手段として機能させるために、前記多数の微小レンズ要素のうち、前記第1群の光源に対応する第1群の微小レンズ要素と、前記第2群の光源に対応する第2群の微小レンズ要素とは、光軸に沿って互いに異なる光学

的厚さを有することが好ましい。この場合、前記第1群の微小レンズ要素と前記第2群の微小レンズ要素とは、互いに異なる焦点距離を有するか、あるいは互いに異なる大きさの入射面を有することが好ましい。

【0011】また、第1発明の好ましい態様によれば、前記位相差付与手段は、照明光路中に配置された位相板を有し、前記位相板は、前記第1群の光束が通過する第1群の微小領域と、前記第2群の光束が通過する第2群の微小領域とを少なくとも有し、前記第1群の微小領域と前記第2群の微小領域とが光軸に沿って互いに異なる光学的厚さを有する。

【0012】本発明の第2発明では、マスク上に設けられたパターンを露光装置に転写する露光装置において、前記マスクを照明するための第1発明の照明光学装置と、前記マスクのパターンの像を前記露光装置上に形成するための投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。

【0013】本発明の第3発明では、第2発明の露光装置を用いて前記マスクのパターンの像を前記露光装置上に露光する露光工程と、該露光工程により露光された前記露光装置を現像する現像工程とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法を提供する。

【0014】

【発明の実施の形態】本発明の典型的な実施形態では、多数の光源を形成するための多光源形成手段として、多数の微小レンズ要素を有する波面分割型オブティカルインテグレータを備えている。この場合、前述したように、たとえば照度ムラを低減するとともに二次光源の輪郭の連続性を向上させるために各微小レンズ要素のサイズを小さく設定することにより波面分割数を増大させると、隣接する2つの微小レンズ要素を介した2つの光の空間的コヒーレンシーが高くなる。その結果、被照射面においてスペックル状干渉縞が発生し、ひいては被照射面における照度分布の均一性が悪化する。

【0015】そこで、本発明では、オブティカルインテグレータを介して形成される多数の光源のうち、第1群の光源を形成する第1群の光束と第2群の光源を形成する第2群の光束との間に、コヒーレント光の時間的干渉距離よりも実質的に短い光路長差を付与することによって、第1群の光束と第2群の光束との間に所定の位相差を付与する。具体的には、オブティカルインテグレータを構成する多数の微小レンズ要素のうち、第1群の光源に対応する第1群の微小レンズ要素と、第2群の光源に対応する第2群の微小レンズ要素とが光軸に沿って互いに異なる光学的厚さを有するように構成する。

【0016】この場合、光学的厚さの等しい2つの隣接する微小レンズ要素を介した光は、被照射面上においてスペックル状干渉縞を形成する。一方、光学的厚さの異なる2つの隣接する微小レンズ要素を介した光も、時間的干渉距離よりも実質的に短い光路長差（たとえば時

間的可干渉距離の1/10以下の光路長さ)しか付与されていないので、被照射面上においてスベックル状干渉縞を形成する。しかしながら、光学的厚さの等しい2つの隣接する微小レンズ要素を介した光すなわち同位相の光が形成するスベックル状干渉縞と、光学的厚さの異なる2つの隣接する微小レンズ要素を介した光すなわち逆位相の光が形成するスベックル状干渉縞とは位相がずれることになる。

【0017】その結果、互いに位相の異なる2つのスベックル状干渉縞が重なり合い、互いに相殺されて、合成干渉縞のコントラストが低減される。このように、本発明の照明光学装置では、たとえば照度ムラを低減するとともに二次光源の輪部の連続性を向上させるために波面分割数を増大させても、互いに位相の異なる2つのスベックル状干渉縞の相殺作用を利用して、スベックル状干渉縞に起因する照度分布の均一性の悪化を良好に抑えることができる。

【0018】したがって、本発明の照明光学装置を組み込んだ露光装置では、被照射面である感光性基板の露光面において照度の均一性を良好に確保することができるので、良好な露光条件のもとでスルーputの高い良好な投影露光を行うことができる。また、本発明の露光装置を用いて、良好な露光条件のもとで投影露光を行うことができるので、良好なマイクロデバイスを製造することができる。

【0019】本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。図1は、本発明の実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。なお、図1では、照明光学装置が通常の円形照明を行うように設定されている。図1の露光装置は、露光光(照明光)を供給するための光源1として、たとえば248nmまたは193nmの波長のコヒーレント光を供給するKrFエキシマレーザー光源またはArFエキシマレーザー光源を備えている。

【0020】光源1から基準光軸AXに沿って射出されたほぼ平行な光束は、整形光学系(不図示)を介して所望の矩形形状の断面を有する光束に整形された後、光遅延部2に入射する。光軸AXに沿って光遅延部2に入射した光束は、ハーフミラー200を透過する光束とハーフミラー200で反射される光束とに分割される。ハーフミラー200で反射された光束は、たとえば矩形形状の遅延光路を形成するように配置された4つの反射ミラー(不図示)において順次偏向された後に、ハーフミラー200に戻る。

【0021】遅延光路を1回経た後にハーフミラー200で反射された光束は、遅延光路を経ることなくハーフミラー200を透過した光束と同じ光軸AXに沿って射出され、2つの光束の間には遅延光路の光路長に等しい光路長さ差が付与される。こうして、光遅延部2により、光軸AXに沿って入射する光束は、時間的に複数の光束

に分割され、時間的に連続する2つの光束の間には遅延光路の光路長と等しい光路長さ差が付与される。ここで、付与される光路長さは、コヒーレント光源1からの光束の時間的可干渉距離以上に設定されている。

【0022】したがって、光遅延部2により分割される波速において時間的コヒーレンシー(可干渉性)を低減することができ、被照明面におけるスベックル状干渉縞の発生を良好に抑えることができる。なお、スベックル状干渉縞の発生をさらに良好に抑えるには、上述のような光遅延部を光軸AXに沿って3段に配置することが好ましい。この種の光遅延手段に関するさらに詳細な構成および作用は、たとえば特開平1-198759号公報、特開平11-171365号公報、特願平11-21591号明細書および図面などに開示されている。

【0023】光遅延部2を介して時間的にインコヒーレントな多重のパルスに時間的に分割された光束は、回折光学素子(DOE)31に入射する。一般に、回折光学素子は、ガラス基板に露光光(照明光)の波長程度のピッチを有する段差を形成することによって構成され、入射ビームを所望の角度に回折する作用を有する。具体的には、円形照明用の回折光学素子31は、光軸AXに沿って入射した矩形形状のほぼ平行な光束を、円形状の断面を有する発散光束に変換する。

【0024】回折光学素子31を介した円形状の発散光束は、第1のコンデンサー光学系としてのズームレンズ4を介した後、一對のマイクロフライアイ51および52から構成された多光源形成手段5に入射する。こうして、多光源形成手段5の入射面(すなわち光源側のマイクロフライアイ51の入射面)には、円形状の照野が形成される。そして、形成される円形状の照野の大きさ(すなわちその直径)は、ズームレンズ4の焦点距離に依存して変化する。

【0025】なお、マイクロフライアイ51の入射面およびマイクロフライアイ52の射出面が光化学反応により汚染されるのを回避するために、マイクロフライアイ51の入射面およびマイクロフライアイ52の射出面に隣接して一對の平行平面板53および54がカバーガラスとしてそれぞれ配置されている。したがって、光化学反応による汚染が起こったとしても、一對のマイクロフライアイ51および52を交換することなく、一對のカバーガラス53および54だけを交換すればよい。

【0026】図2は、図1の多光源形成手段の構成を示す図であって、(a)は光軸AXに沿って見た各マイクロフライアイの構成を示す図であり、(b)は一對のマイクロフライアイの作用および断面形状を示す図である。各マイクロフライアイ51および52は互いに同じ基本構成を有し、図2(a)および(b)に示すように、縦横に且つ稠密に配列された多数の矩形形状の正屈折力を有する微小レンズ要素500からなる光学素子である。各マイクロフライアイ51および52は、正方形状

の平行平面ガラス板501にエッチング処理を施して円形状の領域502に微小レンズ群を形成することによって構成されている。

【0027】一般に、マイクロフライアイを構成する各微小レンズ要素は、フライアイレンズを構成する各レンズエレメントよりも微小である。また、マイクロフライアイは、互いに隔絶されたレンズエレメントからなるフライアイレンズとは異なり、多数の微小レンズ要素が互いに隔絶されることなく一体的に形成されている。しかしながら、正屈折力を有するレンズエレメントが縦横に配置されている点でマイクロフライアイはフライアイレンズと同じである。なお、図1および図2では、図面の明瞭化のために、マイクロフライアイを構成する微小レンズ要素の数を実際よりも非常に少なく表している。

【0028】こうして、一対のマイクロフライアイ51および52に入射した光束は、多数の微小レンズ要素により二次元的に分割される。そして、図2(b)において実線で示すように、一対のマイクロフライアイ51および52において光軸AXに沿って対応する一対の微小レンズ要素51aおよび52aからなる合成光学系の後側焦点面に、それぞれ1つの光源が形成される。なお、図2(b)において破線で示すように、一対のマイクロフライアイ51および52の前側焦点面が光源側のマイクロフライアイ51の入射面と一致するように構成されている。

【0029】こうして、一対のマイクロフライアイ51および52の後側焦点面には、光源側のマイクロフライアイ51の入射面に形成される照野と同じ円形状の多数光源（以下、「二次光源」という）が形成される。このように、一対のマイクロフライアイ51および52は、1つの波面分割型オプティカルインテグレータを構成し、ひいては光源1からの光束に基づいて多数の光源を形成するための多光源形成手段5を構成している。

【0030】ここで、ズームレンズ4は、その前側焦点面と回折光学素子31の回折面とが一致し且つその後側焦点面とマイクロフライアイ51の入射面とが一致するように、たとえば3倍の範囲に亘って焦点距離を連続的に変化させるように構成されていることが好ましい。したがって、ズームレンズ4は、光軸に沿って互いに独立に移動可能な3つのレンズ群を備えていることが好ましい。

【0031】一対のマイクロフライアイ51および52の後側焦点面に形成された円形状の二次光源からの光束は、その近傍に配置された虹彩絞リ6に入射する。虹彩絞リ6は、光軸AXを中心としたほぼ円形状の開口部（光透過部）を有し、ほぼ円形状を維持したままでその開口径を連続的に変化させることができるように構成された照明開口絞リである。

【0032】なお、回折光学素子31は、照明光路に対して挿脱自在に構成され、且つ輪帯変形照明用の回折光

学素子32や4極変形照明用の回折光学素子33と切り換え可能に構成されている。具体的には、3つの回折光学素子31～33は、光軸AXに平行な所定の軸線回りに回転可能なターレット（回転板）300上に支持されている。輪帯変形照明用の回折光学素子32および4極変形照明用の回折光学素子33の作用については後述する。

【0033】ここで、円形照明用の回折光学素子31と輪帯変形照明用の回折光学素子32と4極変形照明用の回折光学素子33との間の切り換えは、制御系21からの指令に基づいて動作する第1駆動系22により行われる。また、ズームレンズ4の焦点距離の変化は、制御系21からの指令に基づいて動作する第2駆動系23により行われる。さらに、虹彩絞リ6の開口径の変化は、制御系21からの指令に基づいて動作する第3駆動系24により行われる。

【0034】円形状の開口部を有する虹彩絞リ6を介した二次光源からの光は、第2のコンデンサー光学系としてのズームレンズ7の集光作用を受けた後、後述するマスク10と光学的に共役な所定面を重畳的に照明する。なお、ズームレンズ7は、 $f \sin \theta$  レンズであって、正弦条件を満足するように構成されている。こうして、この所定面には、各マイクロフライアイ51および52を構成する各微小レンズ要素の形状と相似な矩形状の照野が形成される。そして、この所定面に形成される矩形状の照野の大きさおよび照明NAは、ズームレンズ7の焦点距離に依存して変化する。

【0035】ズームレンズ7は、その前側焦点面と一対のマイクロフライアイ51および52の後側焦点面とが一致し且つその後側焦点面と上述の所定面とが一致するように、焦点距離を連続的に変化させるように構成されていることが好ましい。したがって、ズームレンズ7は、ズームレンズ4と同様に、光軸に沿って互いに独立に移動可能な3つのレンズ群を備えていることが好ましい。なお、ズームレンズ7の焦点距離の変化は、制御系21からの指令に基づいて動作する第4駆動系25により行われる。

【0036】なお、マスク10と光学的に共役な所定面には、照明視野絞リとしてのマスクブラインド8が配置されている。マスクブラインド8の開口部（光透過部）を介した光束は、リレー光学系9の集光作用を受けた後、所定のパターンが形成されたマスク10を重畳的に均一照明する。こうして、リレー光学系9は、マスクブラインド8の矩形状の開口部の像をマスク10上に形成することになる。

【0037】マスク10のパターンを透過した光束は、投影光学系11を介して、感光性基板であるウェハ（あるいはプレート）12上にマスクパターンの像を形成する。なお、ウェハ12は、投影光学系11の光軸AXと直交する平面内において二次元的に移動可能なウェハス

ページ13上に保持されている。こうして、ウェハ12を二次元的に駆動制御しながら一括露光またはスキャン露光（走査露光）を行うことにより、ウェハ12の各露光領域（ショット領域）にはマスク10のパターンが逐次露光される。

【0038】なお、一括露光方式では、いわゆるステップ・アンド・リヒート方式にしたがって、ウェハの各露光領域に対してマスクパターンを一括的に露光する。この場合、マスク10上での照明領域の形状は正方形に近い矩形形状であり、一枚のマイクロフライアイ51および52の各微小レンズ要素の形状も正方形に近い矩形形状となる。

【0039】一方、スキャン露光方式では、いわゆるステップ・アンド・スキャン方式にしたがって、マスクおよびウェハを投影光学系に対して相対移動させながらウェハの各露光領域に対してマスクパターンをスキャン露光する。この場合、マスク10上での照明領域の形状は短辺と長辺との比がたとえば1:3の矩形形状であり、一枚のマイクロフライアイ51および52の各微小レンズ要素の形状もこれと相似な矩形形状となる。

【0040】本実施形態では、ズームレンズ7の焦点距離を変化させると、マスク10のパターン面に形成される照明領域の大きさ、さらにウェハ12の露光面に形成される露光領域の大きさが変化する。また、ズームレンズ7の焦点距離の変化に伴って、マスク10のパターン面における照明NAが変化する。一方、ズームレンズ4の焦点距離を変化させると、マスク10のパターン面に形成される照明領域の大きさが変化することなく、マスク10上における照明NAが変化する。

【0041】したがって、本実施形態では、ズームレンズ7の焦点距離を所定の値に設定することにより、マスク10上において所望の大きさの照明領域を得ることが、ひいてはウェハ12上において所望の大きさの露光領域を得ることができる。また、所定の値に設定されたズームレンズ7の焦点距離に対してズームレンズ4の焦点距離を所定の値に設定することにより、マスク10上において所望の大きさの照明NAを得ることが、ひいては所望の $\sigma$ 値に設定または調整することができる。

【0042】さらに、前述したように、回折光学素子31は、照明光路に対して挿脱自在に構成され、且つ輪帯変形照明用の回折光学素子32や4極変形照明用の回折光学素子33と切り換え可能に構成されている。以下、回折光学素子31に代えて回折光学素子32および33を照明光路中に設定することによってそれぞれ得られる輪帯変形照明および4極変形照明について説明する。

【0043】輪帯変形照明用の回折光学素子32は、光軸AXに沿って入射する矩形断面の平行光束を輪帯状の発散光束に変換する。回折光学素子32を介した輪帯状の発散光束は、ズームレンズ4を介した後、一枚のマイクロフライアイ51および52に入射する。こうして、

光源側のマイクロフライアイ51の入射面には、輪帯状の照野が形成される。その結果、一枚のマイクロフライアイ51および52の後側焦点面には、光源側のマイクロフライアイ51の入射面に形成された照野と同じ輪帯状の二次光源が形成され、この輪帯状の二次光源からの光束に基づいて輪帯変形照明を行うことができる。

【0044】一方、4極変形照明用の回折光学素子33は、光軸AXに沿って入射する矩形断面の平行光束を4極状の発散光束に変換する。回折光学素子33を介した4極状の発散光束は、ズームレンズ1を介した後、一枚のマイクロフライアイ51および52に入射する。こうして、光源側のマイクロフライアイ51の入射面には、4極状の照野が形成される。その結果、一枚のマイクロフライアイ51および52の後側焦点面には、光源側のマイクロフライアイ51の入射面に形成された照野と同じ4極状の二次光源が形成され、この4極状の二次光源からの光束に基づいて4極変形照明を行うことができる。

【0045】なお、図2(a)において、微小レンズ要素500が形成される円形状の領域502の直径は、設定すべき最大 $\sigma$ 値に対応するように規定され、たとえば86mm程度に設定される。したがって、微小レンズ要素500のサイズを、たとえば0.54mm・0.2mmと設定すると、円形状の領域502内に形成される微小レンズ要素500の有効個数は5万個程度となる。この場合、多光源形成手段5において非常に大きな波面分割効果が得られるので、被照射面であるマスク10あるいはウェハ12上の照度ムラの発生を低減することができる。その結果、照明条件の切り換え（円形照明と輪帯変形照明と4極変形照明との切り換え、照明領域の大きさや $\sigma$ 値などの照明パラメータの変更など）を行っても、照度ムラの変動およびテレセントリシティの変化を非常に小さく抑えることができる。

【0046】また、多光源形成手段5において非常に大きな波面分割効果が得られるので、輪帯変形照明や4極変形照明に際して、輪帯状または4極状の二次光源の輪郭の連続性が向上するので、輪帯状の開口部や4極状（一般的には多重極状）の開口部を有する照明開口絞りを虹彩絞り6の位置に配置する必要がなくなる。すなわち、円形照明と輪帯変形照明と4極変形照明との切り換えを行っても、従来技術のように円形開口絞りと輪帯状開口絞りと4極状開口絞りととの切り換えを連動的に行うことなく、虹彩絞り6の開口径を必要に応じて変化させてフレア光などの余分な光束を遮るだけでよい。換言すると、いわゆる $\sigma$ 絞りと呼ばれる照明開口絞りの配置を省略することができ、構成を簡素化することができる。

【0047】なお、本実施形態において、十分な波面分割効果を得るには、1つのマイクロフライアイを構成する微小レンズ要素の有効個数が数千個以上であることが



好ましい。さらに波面分割効果を高めるためには、微小レンズ要素の有効個数が数万個以上であることが好ましい。ここで、1つのマイクロフライアイを構成する微小レンズ要素の有効個数は、合成光学系の有効個数に対応し、ひいては多光源形成手段5の波面分割数に対応している。

【0048】ところで、本実施形態では、多光源形成手段5が一对のマイクロフライアイ51および52により構成され、且つ各微小レンズ要素のサイズおよび焦点距離が非常に小さいので、光軸AXに沿って対応すべき一对の微小レンズ要素を互いに位置合わせすること、すなわち一对のマイクロフライアイ51および52を互いに位置合わせすることが重要である。具体的には、光軸AXと直交する面内において二次元的に並進位置ずれることなく、また光軸AXと直交する面内において光軸AX廻りに回転位置ずれることなく、対応すべき一对の微小レンズ要素を位置合わせする必要がある。

【0049】本実施形態では、図2(a)に示すように、一对のマイクロフライアイ51と52との位置合わせ手段として、マイクロフライアイ51および52にそれぞれ4つのアライメントマーク503を形成している。4つのアライメントマーク503は、多数の微小レンズ要素500が形成された円形状の領域502の外側において、正方形の4つの角に対応する位置に、たとえばクロムを蒸着することによって形成されている。各アライメントマーク503は、たとえば1 $\mu$ m程度の位置精度をもって形成され、その大きさは2mm程度である。

【0050】このように、アライメントマーク503の形成されたマイクロフライアイ51および52は、図3に示すような保持部材504によって支持され、照明光路中において別の保持部材（不図示）に取り付けられた状態で位置決めされる。保持部材504には、円形状の領域502に対応した円形状の開口部504aと、4つのアライメントマーク503に対応した4つの円形状の開口部504bとが形成されている。また、保持部材504には、たとえば複数のマイクロメータから構成された駆動系505が接続されている。そして、この駆動系505の作用により、照明光路中に位置決めされた保持部材504は、X方向およびY方向に沿ってそれぞれ微小移動するとともに、光軸AX廻りに微小回転する。

【0051】一对のマイクロフライアイ51と52との位置合わせに際しては、マイクロフライアイ51に形成された4つのアライメントマークおよびマイクロフライアイ52に形成された4つのアライメントマークを、目視により、あるいはルーペや顕微鏡などを介して観察する。そして、対応するアライメントマークが光軸AX方向に沿って一致するように、駆動系505により一对の保持部材のうちの少なくとも一方を微動させる。こうして、一对のマイクロフライアイ51と52とを互いに位

置合わせすること、ひいては光軸AXに沿って対応すべき一对の微小レンズ要素を互いに位置合わせすることができる。なお、一对の保持部材504の双方を可動としてもよいし、一对の保持部材504の一方を可動とし且つ他方を固定としてもよい。

【0052】なお、他の位置合わせ方法として、たとえばオートコリメータのような角度測定装置を用いて、対応する一对の微小レンズ要素の位置ずれを観測する方法が考えられる。この方法では、照明光路中に一对のマイクロフライアイ51および52を挿入しない状態においてオートコリメータを初期設定した後に、一对のマイクロフライアイ51および52を照明光路中に挿入し、一对の微小レンズ要素の透過光束に基づいて位置合わせを行う。また、顕微鏡などで一对の微小レンズ要素の透過光束を観測し、その視野内で観察される一对の微小レンズ要素の位置ずれを読み取ることによって位置合わせを行う方法も考えられる。

【0053】ところで、前述したように、マイクロフライアイ51および52を構成する各微小レンズ要素のサイズを小さく設定することにより波面分割数を増大させると、隣接する2つの微小レンズ要素を介した2つの光の空間的コヒーレンシーが高くなり、マスク10上およびウェハ12上においてスペックル状干渉縞が発生し、ひいては照度分布の均一性が悪化する。そこで、本実施形態では、スペックル状干渉縞に起因する照度分布の均一性の悪化を良好に抑えるために、光源側のマイクロフライアイ51を、光軸AXに沿って光学的厚さの異なる2種類の微小レンズ要素で構成している。

【0054】具体的には、光学的厚さの小さい微小レンズ要素を介した光と光学的厚さの大きい微小レンズ要素を介した光との間の位相差がオプティカルインテグレート（51、52）の後側焦点において180度になるように、2種類の微小レンズ要素の光学的厚さの差を設定している。たとえば、光源1にArFエキシマレーザーを用い、マイクロフライアイ51を構成する各微小レンズ要素に同じ光学材料（石英または蛍石）を用いる場合、2種類の微小レンズ要素の厚さの差が約0.2 $\mu$ mまたはその奇数倍（3倍、5倍、・・・）に設定される。なお、場合によっては、マイクロフライアイ51を構成する2種類の微小レンズ要素に屈折率の異なる光学材料（単一の光学材料または複合の光学材料）を用いることにより、各微小レンズ要素の厚さを一定に設定しても、2種類の微小レンズ要素の間に所望の光学的厚さの差を確保することができる。

【0055】図4は、図1の光源側のマイクロフライアイを構成する2種類の微小レンズ要素の配置例を示す図である。図4において、斜線部は光学的厚さの小さい微小レンズ要素を示し、空白部は光学的厚さの大きい微小レンズ要素を示している。図4の配置例では、各水平方向、各鉛直方向、および各対角方向（右上がり斜め方向



および左(右)斜め方向)の1方向に沿って、光学的厚さの等しい微小レンズ要素が互いに隣接する組み合わせと、光学的厚さの異なる微小レンズ要素が互いに隣接する組み合わせとが同数になっている。

【0056】ここで、光学的厚さの等しい2つの隣接する微小レンズ要素を介した光は、被照射面であるマスク10上およびウェハ12上においてスペックル状干渉縞を形成する。一方、光学的厚さの異なる2つの隣接する微小レンズ要素を介した光も、時間的可干渉距離よりも実質的に短い光路長差(たとえば時間的可干渉距離の1/10以下の光路長差)しか付与されていないので、マスク10上およびウェハ12上においてスペックル状干渉縞を形成する。しかしながら、光学的厚さの等しい2つの隣接する微小レンズ要素を介した光すなわち同位相の光が形成するスペックル状干渉縞と、光学的厚さの異なる2つの隣接する微小レンズ要素を介した光すなわち逆位相の光が形成するスペックル状干渉縞とでは位相がずれることになる。

【0057】その結果、互いに位相の異なる2つのスペックル状干渉縞が重なり合い、互いに相殺されて、合成干渉縞のコントラストが低減される。特に、図4に示す配置例によれば、上述したように、光学的厚さの等しい微小レンズ要素が互いに隣接する組み合わせと、光学的厚さの異なる微小レンズ要素が互いに隣接する組み合わせとが、4方向に沿って同数になっている。したがって、互いに位相の異なる2つのスペックル状干渉縞の相殺作用を最大限に利用して、スペックル状干渉縞に起因する照度分布の均一性の悪化を良好に抑えることができる。

【0058】図5は、図1の光源側のマイクロフライアイを構成する2種類の微小レンズ要素の別の配置例を示す図である。図5においても、斜線部は光学的厚さの小さい微小レンズ要素を示し、空白部は光学的厚さの大きい微小レンズ要素を示している。図5の配置例では、光学的厚さの等しい微小レンズ要素が互いに隣接する組み合わせと、光学的厚さの異なる微小レンズ要素が互いに隣接する組み合わせとが、4方向のうちいずれの方向に沿っても同数ではないが、全体的には各方向に沿ってかなり均等になっている。

【0059】したがって、図5の配置例の場合も図4の配置例の場合と同様に、互いに位相の異なる2つのスペックル状干渉縞の相殺作用を利用して、スペックル状干渉縞に起因する照度分布の均一性の悪化を良好に抑えることができる。また、全体の配置パターンが非常に規則的で且つ簡素であり、マイクロフライアイ51の製造が容易である。なお、図示を省略したが、光学的厚さの異なる2種類の微小レンズ要素をランダムに配置することにより、図4の配置例および図5の配置例の場合と同様に、互いに位相の異なる2つのスペックル状干渉縞の相殺作用を利用して、スペックル状干渉縞に起因する照度

分布の均一性の悪化を良好に抑えることができる。

【0060】以上のように、本実施形態では、マイクロフライアイ51が多光源形成手段5の一部を構成するとともに、第1群の光源を形成する第1群の光束と第2群の光源を形成する第2群の光束との間に、時間的可干渉距離よりも実質的に短い光路長差を付与することによって、第1群の光束と第2群の光束との間に所定の位相差を付与するための位相差付与手段を構成している。その結果、本実施形態では、たとえば照度ムラを低減するとともに二次光源の輪郭の連続性を向上させるために波面分割数を増大させても、互いに位相の異なる2つのスペックル状干渉縞の相殺作用を利用して、スペックル状干渉縞に起因する照度分布の均一性の悪化を良好に抑えることができる。

【0061】なお、上述の実施形態では、位相差が180度になるように2種類の微小レンズ要素の光学的厚さの差を設定しているが、これに限定されることなく、位相が互いに実質的に異なるように2種類の微小レンズ要素の光学的厚さの差を設定することにより本発明の効果を達成することができる。

【0062】また、上述の実施形態では、光源側のマイクロフライアイ51が位相差付与手段を構成しているが、これに限定されることなく、被照射面側のマイクロフライアイ52で位相差付与手段を構成することもできる。さらに、双方のマイクロフライアイ51と52とで位相差付与手段を構成したり、カバーガラス53または54で位相差付与手段を構成することもできる。一般的には、マイクロフライアイ51、マイクロフライアイ52、カバーガラス53およびカバーガラス54のうち少なくとも1つの光学部材で位相差付与手段を構成することができる。

【0063】たとえば、カバーガラス53で位相差付与手段を構成する場合、およびカバーガラス53を含む複数の光学部材で位相差付与手段を構成する場合、カバーガラス53は、上述の第1群の光束が通過する第1群の微小領域と、上述の第2群の光束が通過する第2群の微小領域とを有し、第1群の微小領域と第2群の微小領域とが光軸に沿って互いに異なる光学的厚さを有するように形成される。換言すると、カバーガラス53は、いわゆる位相板として形成されることになる。この観点によれば、照明光路中に配置された他の位相板で位相差付与手段を構成することもできる。

【0064】さらに、上述の実施形態では、光学的厚さの異なる2種類の微小レンズ要素でマイクロフライアイ51を構成しているが、マイクロフライアイを構成する微小レンズ要素の種類数については3つ以上に設定することもできる。したがって、位相板においても、光学的厚さの異なる3種類以上の微小領域を形成することもできる。この場合、マイクロフライアイ(マイクロレンズアレイ)51により形成される多光源は、第1群～第3群

の光源群を持ち、第1群の光束と第2群の光束との間、第1群の光束と第3群の光束との間および第3群の光束と第2群の光束との間に対してそれぞれ同じ量だけ位相差（120度の位相差）を付与するように、マイクロフライアイ51は光学的厚さが異なる3種の微小レンズを有する構成、または位相板は光学的厚さが異なる3種の微小領域を有する構成とすることが望ましい。このとき、3種の微小レンズの光学的厚さが異なることにより付与されるマイクロフライアイ51全体での光学的光路長差の最大値は、光束の時間的可干渉距離の $1/10$ 以下であることがより一層好ましい。同様に、位相板にて3種の微小領域の光学的厚さが異なることにより付与される位相板全体での光学的光路長差の最大値は、光束の時間的可干渉距離の $1/10$ 以下であることがより一層好ましい。

【0065】ここで、以上の事を一般的に言うと、マイクロフライアイ（マイクロレンズアレイ）51により形成される多光源は第1群～第N群の光源群を持ち、第N-1群の光束と第N群の光束との間の光束の組み合わせに対してそれぞれ同じ量だけ位相差（ $360/N$ 度の位相差）を付与するように、マイクロフライアイを光学的厚さが異なるN種の微小レンズで構成、または位相板を光学的厚さが異なるN種の微小領域で構成することが望ましい。但し、Nは2以上の整数である。このとき、マイクロフライアイ51全体での光学的光路長差の最大値または位相板全体での光学的光路長差の最大値は、光束の時間的可干渉距離の $1/10$ 以下であることがより一層好ましいことは言うまでもない。なお、マイクロフライアイ51を構成する多数のレンズ素子の大きさが小さくなるに従って、マイクロフライアイを構成する光学的厚さが異なる微小レンズの種類、または位相板を構成する光学的厚さが異なる微小領域の種類を増加させることが望ましい。これによって、本発明によるより一層の効果を十分得ることができ。

【0066】また、上述の実施形態では、光学的厚さの異なる2種類の微小レンズ要素でマイクロフライアイ51を構成しているが、この2種類の微小レンズ要素が互いに異なる焦点距離を有するように設定することもできる。この場合、焦点距離の比較的最長い微小レンズ要素を介した光と、焦点距離の比較的最短い微小レンズ要素を介した光とでは、被照射面であるマスク10上に形成する照明領域の大きさが異なることになる。その結果、互いに異なる焦点距離を有する複数種類の微小レンズ要素を介して、照明領域の周辺における照度分布を制御することが可能になる。なお、互いに異なる焦点距離を有する2種類の微小レンズ要素で被照射面側のマイクロフライアイ52を構成してもよいし、互いに異なる焦点距離を有する2種類の微小レンズ要素で双方のマイクロフライアイ51および52を構成してもよい。

【0067】さらに、上述の実施形態では、光学的厚さ

の異なる2種類の微小レンズ要素でマイクロフライアイ51を構成しているが、たとえば図6に示すように、この2種類の微小レンズ要素が互いに大ききの異なる入射面を有するように設定することもできる。この場合、マイクロフライアイ51を構成する微小レンズ要素の入射面は被照射面と光学的に共役位置に配置されているので、入射面の比較的大きい微小レンズ要素を介した光と、入射面の比較的小さい微小レンズ要素を介した光とでは、被照射面であるマスク10上に形成する照明領域の大きさが異なることになる。その結果、互いに大ききの異なる入射面を有する複数種類の微小レンズ要素を介して、照明領域の周辺における照度分布を制御することが可能になる。

【0068】また、本実施形態のような照明光学装置では、コンデンサー光学系としてのズームレンズ7などを構成する各レンズに施された反射防止膜の角度特性に起因して照度ムラが発生することが知られている。ここで、反射防止膜は、レンズ表面に複数枚の誘電体の薄膜を蒸着して形成され、反射光を振幅分割して多数の光の位相をずらして干渉させることによって反射光を消す。位相のずらし方は膜の厚さで制御されるため、光束の入射角度が異なると反射防止の効果に差異が発生する。一般に、レンズを使用する光学系では、レンズ周辺を透過する光線ほど大きく折り曲げられ入射角は大きい。一方、反射防止膜は垂直入射に対して設計されているので、入射角の大きい光ほど反射され易い。その結果、被照射面において像高が大きいほど、すなわち光軸から離れるにしたがって照度がほぼ二次曲線状に低下する傾向となる。

【0069】本実施形態では、カバーガラス53の被照射面側の面にクロムのドットパターンが形成されたフィルタを配置することによって、上述の反射防止膜の角度特性などに起因して発生する照度ムラなどを補正することができる。ここで、光源側のマイクロフライアイ51を構成する各微小レンズ要素の入射面に対応する微小な矩形状の領域に形成されるドットパターンは、その中心の透過率が最も小さくその周辺に向かって透過率が徐々に増大するように構成されている。この場合も、カバーガラス53に形成された矩形状の微小ドットパターン領域と光源側のマイクロフライアイ51の各微小レンズ要素とを位置合わせする必要がある。この位置合わせは、前述したアライメントマークをカバーガラス53に形成することによって、一対のマイクロフライアイの位置合わせと同様に行うことができる。

【0070】なお、上述のフィルタは、光源側のマイクロフライアイ51の入射面に限定されることなく、被照射面と光学的に共役な面の近傍に配置することができる。また、上述のドットパターンを、光源側のマイクロフライアイ51を構成する各微小レンズ要素の入射面に直接形成することもできる。また、ドットパターンの形

成されたカバーガラス53に代えて、入射角に応じて透過率の異なるフィルタを照明光学装置の瞳位置（たとえば虹彩絞り6の位置またはその共役面）に配置することによって、上述の照度ムラを補正することができる。

【0071】さらに、コンデンサ光学系としてのズームレンズ7を構成する複数のレンズのうち一部のレンズを光軸方向に移動させることによって上述の照度ムラを補正する方法も考えられる。しかしながら、この方法では、ディストーション（歪曲収差）のような諸収差が発生するだけでなく、ズームレンズ7の焦点距離の変化に伴って $\sigma$ 値など照明パラメータが変化してしまう。また、前述したように、照明条件の切り換えに伴って照度ムラがわずかに変動することがある。この場合、照明条件の切り換えに際して、上述のフィルタの切り換えなどを行うことにより照度ムラの変動を補正することもできる。

【0072】なお、上述の実施形態においては、間隔を隔てた配置された一対のマイクロフライアイにより多光源形成手段を構成しているが、一般に間隔を隔てた配置された少なくとも2つの光学要素束により多光源形成手段を構成することもできる。ここで、光学要素束は、レンズ面の二次元アレイや反射面の二次元アレイを含む概念である。また、上述の実施形態においては、エッチング処理によりマイクロフライアイを形成しているが、たとえば圧痕法や研磨法によりマイクロフライアイを形成することもできる。

【0073】さらに、上述の実施形態においては、一対のマイクロフライアイが空気間隔を隔てて配置されているが、その間隔空間を不活性ガスや光学ガラスで満たすこともできる。なお、所定の波長よりも短い紫外光を供給する光源を用いる場合には、石英ガラスまたは螢石を用いて波面分割型オブティカルインテグレータを形成することが好ましい。また、上述の実施形態においては、波面分割型オブティカルインテグレータとしてマイクロフライアイを用いているが、たとえばフライアイレンズのような波面分割型オブティカルインテグレータを用いることもできる。この場合、十分な波面分割効果を得るために、十分な数のレンズエレメントでフライアイレンズを構成することが好ましい。

【0074】さらに、上述の実施形態においては、回折光学素子をターレット方式で照明光路中に位置決めするように構成しているが、たとえば公知のスライド機構を利用して上述の回折光学素子の切り換えを行うこともできる。ところで、本発明で利用することのできる回折光学素子に関する詳細な説明は、米国特許第5,850,300号公報などに開示されている。また、上述の実施形態では、光強度分布変更手段として回折光学素子を用いているが、たとえばフライアイレンズやマイクロフライアイのような波面分割型オブティカルインテグレータを用いることもできる。

【0075】さらに、上述の実施形態では、マスク10と共役な所定面に照野を一旦形成し、この照野からの光束をマスクブラインド8で制限した後に、リレー光学系9を介してマスク10上に照野を形成している。しかしながら、リレー光学系9を省略し、ズームレンズ7を介して、マスクブラインド8の位置に配置したマスク10上に照野を直接形成する構成も可能である。また、上述の実施形態では、4極状の二次光源を形成する例を示しているが、たとえば2極（2つ目）状の二次光源、あるいは8極（8つ目）状のような多重極状の二次光源を形成することもできる。

【0076】図7は、図1に示す実施形態の変形例の要部構成を概略的に示す図である。図7の変形例は、図1に示す実施形態と類似の構成を有する。しかしながら、図1の実施形態ではオブティカルインテグレータとして一対のマイクロフライアイ51および52を用いているが、図7の変形例ではオブティカルインテグレータとして内面反射型のロッド状オブティカルインテグレータ（以下、「ロッド状インテグレータ」という）を用いていることが基本的に相違している。なお、図7では、図面の明瞭化のために、回折光学素子31（32、33）からマスク10までの要部構成だけを示し、その他の構成要素の図示を省略している。以下、図1の実施形態との相違点に若目して、図7の変形例を説明する。

【0077】図7の変形例では、一対のマイクロフライアイ51および52に代えてロッド状インテグレータ71を用いることに対応して、ズームレンズ4とロッド状インテグレータ71との間の光路中にリレーレンズ72を付設し、虹彩絞り6、ズームレンズ7およびマスクブラインド8を取り除いている。ここで、ズームレンズ4とリレーレンズ72とは、回折光学素子31（32、33）の回折面とロッド状インテグレータ71の入射面とを光学的に共役に配置している。また、リレー光学系9は、ロッド状インテグレータ71の射出面とマスク10のパターン面とを光学的に共役に配置している。

【0078】ロッド状インテグレータ71は、石英ガラスや螢石のような硝子材料からなる内面反射型のガラスロッドであり、内部と外部との境界面すなわち内面での全反射を利用して集光点を通りロッド入射面に平行な面に沿って内面反射数に応じた数の光源像を形成する。ここで、形成される光源像のほとんどは虚像であるが、中心（集光点）の光源像のみが実像となる。すなわち、ロッド状インテグレータ71に入射した光束は、内面反射により角度方向に分割され、集光点を通りその入射面に平行な面に沿って多数の光源像が形成される。ロッド状インテグレータ71によりその入射側に形成された多数の光源像からの光束は、その射出面において重畳された後、リレー光学系9を介してマスク10を重畳的に照明する。

【0079】ところで、ロッド状インテグレータ71に

おける内面反射数が大きく設定されている（すなわち形成される光源の数が大きく設定されている）場合、隣接する2つの光源からの光の空間的コヒーレンシーが高くなり、マスク10上およびウェハ12上においてスペックル状干渉縞が発生し、ひいては照度分布の均一性が悪化する。そこで、図7の変形例では、ズームレンズ4とリレーレンズ72との間の光路中に、たとえばズームレンズ4の後側焦点位置（すなわちリレーレンズ72の前側焦点位置）に、位相差付与手段としての位相板73を配置している。

【0080】したがって、たとえば円形照明用の回折光学素子31が照明光路に設置されている場合、回折光学素子31およびズームレンズ4を介した光は、円形状の光束となって位相板73に入射する。位相板73は、ロッド状インテグレート71において形成される多数の光源のうち第1群の光源を形成する第1群の光束と第2群の光源を形成する第2群の光束との間に、時間的可干渉距離よりも実質的に短い光路長差を付与することによって、第1群の光束と第2群の光束との間に所定の位相差を付与する。

【0081】具体的には、位相板73は、上述の実施形態における位相板と同様に、上述の第1群の光束が通過する第1群の微小領域と、上述の第2群の光束が通過する第2群の微小領域とを有し、第1群の微小領域と第2群の微小領域とが光軸に沿って互いに異なる光学的厚さを有するように形成されている。その結果、図1の実施形態と同様に、たとえば照度ムラを低減するとともに二次光源の輪郭の連続性を向上させるために内面反射数を増大させても、互いに位相の異なる2つのスペックル状干渉縞の相殺作用を利用して、スペックル状干渉縞に起因する照度分布の均一性の悪化を良好に抑えることができる。

【0082】上述の実施形態（変形例を含む）にかかる露光装置では、照明光学装置によってマスク（またはレチクル）を照明し（照明工程）、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する（露光工程）ことにより、マイクロデバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。以下、上述の実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図8のフローチャートを参照して説明する。

【0083】まず、図8のステップ301において、1ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウェハ上の金属膜上にフォトリジストが塗布される。その後、ステップ303において、上述の実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系（投影光学モジュール）を介して、その1ロットのウェハ上の各ショット領

域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウェハ上のフォトリジストの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウェハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

【0084】また、上述の実施形態の露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図9のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図9において、パターン形成工程401では、各実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レチクル剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

【0085】次に、カラーフィルター形成工程402では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列したカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

【0086】その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

【0087】ところで、上述の実施形態および変形例では、光源としてKrFエキシマレーザ（波長：248nm）

m)やArFエキシマレーザ(波長:193nm)を用いているが、g線やi線を含む他の波長光を供給する適当な光源に対しても本発明を適用することができる。また、上述の実施形態および変形例では、照明光学装置を備えた露光装置を例にとって本発明を説明したが、マスク以外の被照射面を均一照明するための一般的な照明光学装置に本発明を適用することができることは明らかである。

#### 【0088】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の照明光学装置では、たとえば照度ムラを低減するとともに二次光源の輪郭の連続性を向上させるために波面分割数を増大させても、互いに位相の異なる2つのスペckル状干渉縞の相殺作用を利用して、スペckル状干渉縞に起因する照度分布の均一性の悪化を良好に抑えることができる。

【0089】したがって、本発明の照明光学装置を組み込んだ露光装置では、被照射面である感光性基板の露光面において照度の均一性を良好に確保することができるので、良好な露光条件のもとでスループットの高い良好な投影露光を行うことができる。また、本発明の露光装置を用いて、良好な露光条件のもとで投影露光を行うことができるので、良好なマイクロデバイスを製造することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の本実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】図1の多光源形成手段の構成を示す図であって、(a)は光軸AXに沿って見た各マイクロフライアイの構成を示す図であり、(b)は一对のマイクロフライアイの作用および断面形状を示す図である。

【図3】図1の一对のマイクロフライアイの位置合わせを説明する図である。

【図1】図1の光源側のマイクロフライアイを構成する2種類の微小レンズ要素の配置例を示す図である。

【図5】図1の光源側のマイクロフライアイを構成する2種類の微小レンズ要素の別の配置例を示す図である。

【図6】互いに大ききの異なる入射面を有する2種類の微小レンズ要素でマイクロフライアイを構成する例を示す図である。

【図7】図1に示す実施形態の変形例の要部構成を概略的に示す図である。

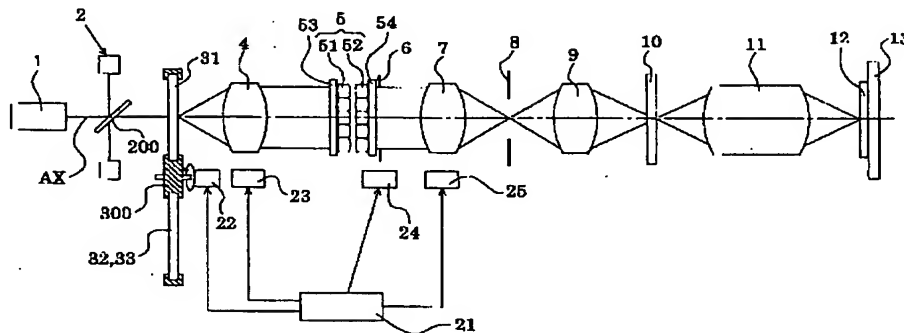
【図8】マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

【図9】マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

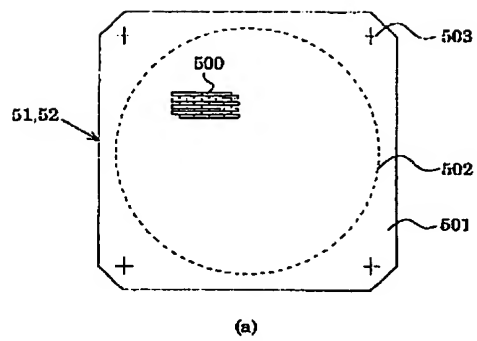
#### 【符号の説明】

- 1 光源
- 2 光遅延部
- 3 回折光学素子
- 4 ズームレンズ
- 5 多光源形成手段
- 51, 52 マイクロフライアイ
- 6 虹彩絞り
- 7 ズームレンズ
- 8 マスクブラインド
- 9 リレー光学系
- 10 マスク
- 11 投影光学系
- 12 ウェハ
- 13 ウェハステージ
- 21 制御系
- 22~25 駆動系
- 71 ロッド状インテグレート
- 73 位相板

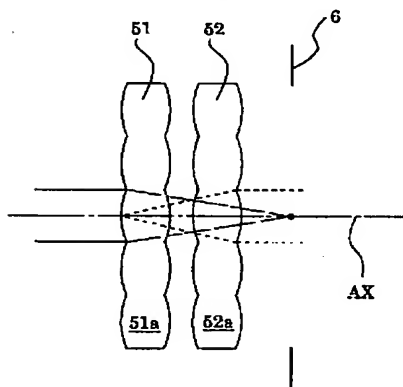
【図1】



【図2】

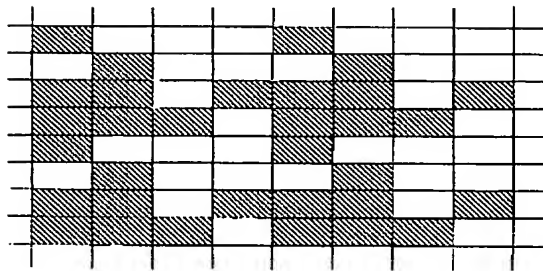


(a)

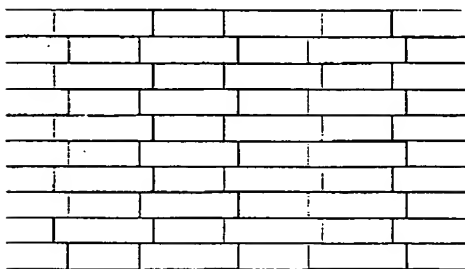


(b)

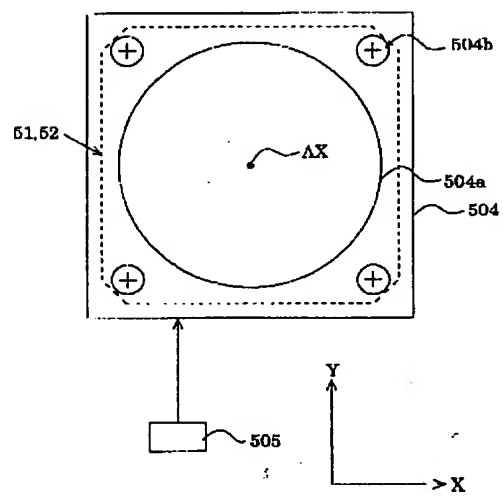
【図4】



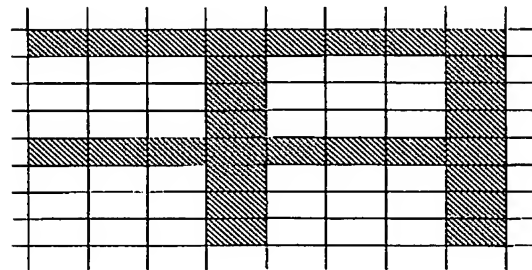
【図6】



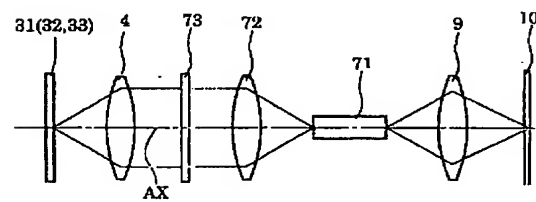
【図3】



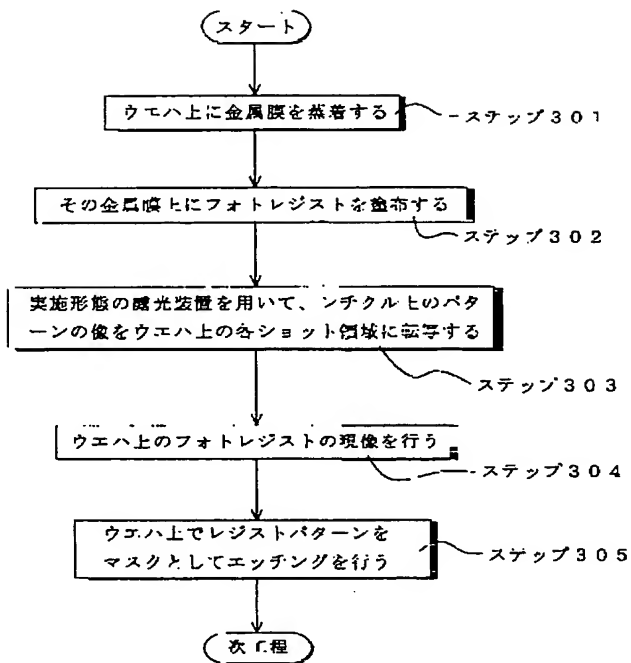
【図5】



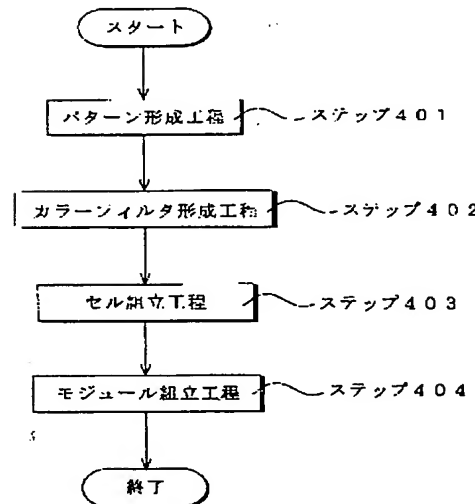
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 森 芳雄  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72)発明者 渋谷 眞人  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

Ｆターム(参考) 2H052 BA02 BA03 BA09 BA12  
5F046 CB13 DA13



\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] The light source means for supplying coherent light, and the multi-light source means forming for forming much light sources based on the flux of light from this light source means, In illumination-light study equipment equipped with the light guide optical system for leading the flux of light from the light source of said large number to an irradiated plane Between the flux of light of the 1st group which forms the light source of the 1st group at least among the light sources of said large number, and the flux of light of the 2nd group which forms the light source of the 2nd group Illumination-light study equipment characterized by having the phase contrast grant means for giving predetermined phase contrast between the flux of light of said 1st group, and the flux of light of said 2nd group by giving a short optical-path-length difference more substantially than the time coherence length of said coherent light.

[Claim 2] Said optical path difference is illumination-light study equipment according to claim 1 characterized by being 1/10 or less [ of said time coherence length ].

[Claim 3] In order that said multi-light source means forming may have the wavefront-splitting mold optical integrator which has many microlens elements and may operate said wavefront-splitting mold optical integrator as said phase contrast grant means The microlens element of the 1st group corresponding to the light source of said 1st group among the microlens elements of said large number and the microlens element of the 2nd group corresponding to the light source of said 2nd group are illumination-light study equipment according to claim 1 or 2 characterized by having mutually different optical thickness in accordance with an optical axis.

[Claim 4] The microlens element of said 1st group and the microlens element of said 2nd group are illumination-light study equipment according to claim 3 characterized by having a mutually different focal distance.

[Claim 5] The microlens element of said 1st group and the microlens element of said 2nd group are illumination-light study equipment according to claim 3 characterized by having the plane of incidence of mutually different magnitude.

[Claim 6] Said phase contrast grant means has the phase plate arranged all over an illumination-light way. Said phase plate It has at least the minute field of the 1st group through which the flux of light of said 1st group passes, and the minute field of the 2nd group through which the flux of light of said 2nd group passes. Illumination-light study equipment given in claim 1 characterized by having the optical thickness from which the minute field of said 1st group and the minute field of said 2nd group differ mutually in accordance with an optical axis thru/or any 1 term of 5.

[Claim 7] The aligner characterized by having illumination-light study equipment given in claim 1 for illuminating said mask thru/or any 1 term of 6, and the projection optics for forming the image of the pattern of said mask on said photosensitive substrate in the aligner which imprints the image of the pattern prepared on the mask to up to a photosensitive substrate.

[Claim 8] The manufacture approach of the micro device characterized by including the exposure process which exposes the pattern of said mask on said photosensitive substrate using an aligner

according to claim 7, and the development process which develops said photosensitive substrate exposed by this exposure process.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

**JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the suitable illumination-light study equipment for the aligner for manufacturing micro devices, such as a semiconductor device, an image sensor, a liquid crystal display component, and the thin film magnetic head, at a lithography process especially about the aligner equipped with illumination-light study equipment and this illumination-light study equipment.

[0002]

[Description of the Prior Art] In this kind of typical aligner, the flux of light injected from the light source carries out incidence to a micro fly eye lens or a micro-lens array (only henceforth a "micro fly eye"), and forms the secondary light source which becomes an after that side focal plane from much light sources. After the flux of light from the secondary light source is restricted through the aperture diaphragm arranged near the backside [ a micro fly eye ] focal plane, incidence of it is carried out to a condenser lens. An aperture diaphragm restricts to the configuration of the secondary light source, the configuration of a request of magnitude, or magnitude according to desired lighting conditions (exposure conditions).

[0003] The flux of light condensed by the condenser lens illuminates in superposition the mask with which the predetermined pattern was formed. Image formation of the light which penetrated the pattern of a mask is carried out on a wafer through projection optics. In this way, on a wafer, projection exposure (imprint) of the mask pattern is carried out. In addition, it is indispensable to integrate highly the pattern formed in the mask and to imprint this detailed pattern correctly on a wafer to acquire uniform illumination distribution on a wafer.

[0004] In recent years, the technique of changing the coherency sigma of lighting (sigma value = the pupil diameter of the diameter of an aperture diaphragm / projection optics or incidence side numerical aperture of the injection side numerical aperture / projection optics of a sigma value = illumination-light study system) attracts attention by changing the magnitude of opening (light transmission section) of the aperture diaphragm arranged at the injection side of a micro fly eye. Moreover, by setting up the configuration of opening of the aperture diaphragm arranged at the injection side of a micro fly eye the shape of zona orbicularis, and in the shape of 4 holes (the shape of namely, 4 poles), the configuration of the secondary light source formed of a micro fly eye is restricted the shape of zona orbicularis, and in the shape of 4 poles, and the technique of raising the depth of focus and resolution of projection optics attracts attention.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] By the way, in order to restrict the configuration of the secondary light source the shape of zona orbicularis, and in the shape of 4 poles and to perform deformation lighting (zona-orbicularis lighting and 4 pole lighting) If the aperture diaphragm which has opening of the shape of the shape of zona orbicularis or 4 poles only restricts the flux of light from the comparatively big secondary light source formed of the micro fly eye, the considerable part of the flux of light from the secondary light source will be covered by the aperture diaphragm, and will not

contribute to lighting (exposure). Consequently, by quantity of light loss in an aperture diaphragm, the illuminance on a mask and a wafer falls and the throughput as an aligner also falls.

[0006] then -- for example, incidence of the flux of light changed the shape of zona orbicularis and in the shape of 4 poles through a flux of light sensing element like a diffracted-light study component is carried out to a micro fly eye, and the configuration which forms the secondary light source of the shape of the shape of zona orbicularis and 4 poles in the injection side of a micro fly eye can be considered. Moreover, while reducing the illuminance nonuniformity on a mask and a wafer, in order to raise the continuity of the profile of the secondary light source of the shape of the shape of zona orbicularis, and 4 poles, the configuration which increases the number of wavefront splitting of a micro fly eye can be considered.

[0007] However, if the number of wavefront splitting is increased by setting up small the size of each microlens which constitutes a micro fly eye, the spatial coherency (coherency) of two light through two adjoining microlenses will become high. Consequently, a speckle-like interference fringe occurs on the mask which is an irradiated plane, and a wafer, as a result the homogeneity of the illumination distribution in an irradiated plane gets worse.

[0008] Even if it increases the number of wavefront splitting in order to raise the continuity of the profile of the secondary light source while this invention is made in view of the above-mentioned technical problem, for example, reduces illuminance nonuniformity, it aims at offering the aligner equipped with the illumination-light study equipment and this illumination-light study equipment which can suppress homogeneous aggravation of the illumination distribution resulting from a speckle-like interference fringe good. Moreover, this invention aims at offering the micro device manufacture approach that a good micro device can be manufactured by the high throughput and high resolving power, using the deformation lighting with which homogeneous aggravation of the illumination distribution resulting from a speckle-like interference fringe was suppressed good.

[0009]

[Means for Solving the Problem] In order to solve said technical problem, in the 1st invention of this invention The light source means for supplying coherent light, and the multi-light source means forming for forming much light sources based on the flux of light from this light source means, In illumination-light study equipment equipped with the light guide optical system for leading the flux of light from the light source of said large number to an irradiated plane Between the flux of light of the 1st group which forms the light source of the 1st group at least among the light sources of said large number, and the flux of light of the 2nd group which forms the light source of the 2nd group By giving a short optical-path-length difference more substantially than the time coherence length of said coherent light, the illumination-light study equipment characterized by having the phase contrast grant means for giving predetermined phase contrast between the flux of light of said 1st group and the flux of light of said 2nd group is offered.

[0010] According to the desirable mode of the 1st invention, said optical path difference is  $1/10$  or less [ of said time coherence length ]. Moreover, in order that said multi-light source means forming may have the wavefront-splitting mold optical integrator which has many microlens elements and may operate said wavefront-splitting mold optical integrator as said phase contrast grant means As for the microlens element of the 1st group corresponding to the light source of said 1st group, and the microlens element of the 2nd group corresponding to the light source of said 2nd group, it is desirable among the microlens elements of said large number to have mutually different optical thickness in accordance with an optical axis. In this case, as for the microlens element of said 1st group, and the microlens element of said 2nd group, it is desirable to have the plane of incidence of magnitude which has a mutually different focal distance or is mutually different.

[0011] According to the desirable mode of the 1st invention, moreover, said phase contrast grant means It has the phase plate arranged all over an illumination-light way. Said phase plate It has at least the minute field of the 1st group through which the flux of light of said 1st group passes, and the minute field of the 2nd group through which the flux of light of said 2nd group passes, and has the optical thickness from which the minute field of said 1st group and the minute field of said 2nd group differ

mutually in accordance with an optical axis.

[0012] In the 2nd invention of this invention, the aligner characterized by having the illumination-light study equipment of the 1st invention for illuminating said mask and the projection optics for forming the image of the pattern of said mask on said photosensitive substrate is offered in the aligner which imprints the image of the pattern prepared on the mask to up to a photosensitive substrate.

[0013] In the 3rd invention of this invention, the manufacture approach of the micro device characterized by including the exposure process which exposes the pattern of said mask on said photosensitive substrate using the aligner of the 2nd invention, and the development process which develops said photosensitive substrate exposed by this exposure process is offered.

[0014]

[Embodiment of the Invention] With the typical operation gestalt of this invention, it has the wavefront-splitting mold optical integrator which has many microlens elements as multi-light source means forming for forming much light sources. In this case, if the number of wavefront splitting is increased by setting up the size of each microlens element small in order to raise the continuity of the profile of the secondary light source while reducing illuminance nonuniformity as mentioned above for example, the spatial coherency of two light through two adjoining microlens elements will become high. Consequently, a speckle-like interference fringe occurs in an irradiated plane, as a result the homogeneity of the illumination distribution in an irradiated plane gets worse.

[0015] So, in this invention, predetermined phase contrast is given between the flux of light of the 1st group, and the flux of light of the 2nd group by giving a short optical-path-length difference more substantially than the time coherence length of coherent light between the flux of light of the 1st group which forms the light source of the 1st group among the light sources of a large number formed through an optical integrator, and the flux of light of the 2nd group which forms the light source of the 2nd group. It constitutes so that it may have the optical thickness from which the microlens element of the 1st group corresponding to the light source of the 1st group and the microlens element of the 2nd group corresponding to the light source of the 2nd group specifically differ mutually in accordance with an optical axis among the microlens elements of a large number which constitute an optical integrator.

[0016] In this case, the light through two equal adjoining microlens elements of optical thickness forms a speckle-like interference fringe on an irradiated plane. Since only the short optical-path-length difference (for example, 1/10 or less optical-path-length difference of time coherence length) is given more substantially than time coherence length, the light which, on the other hand, minded two adjoining microlens elements from which optical thickness differs also forms a speckle-like interference fringe on an irradiated plane. However, a phase will shift in the speckle-like interference fringe which the light, i.e., the light of an opposite phase, through two adjoining microlens elements in which optical thickness differs from the speckle-like interference fringe to form, the light, i.e., a light in phase, through two equal adjoining microlens elements of optical thickness, forms.

[0017] Consequently, two speckle-like interference fringes from which a phase differs mutually overlap, each other is offset mutually, and the contrast of a synthetic interference fringe is reduced. Thus, with the illumination-light study equipment of this invention, while reducing illuminance nonuniformity, for example, in order to raise the continuity of the profile of the secondary light source, even if it increases the number of wavefront splitting, homogeneous aggravation of the illumination distribution resulting from a speckle-like interference fringe can be suppressed good using the phase bactericidal action of two speckle-like interference fringes from which a phase differs mutually.

[0018] Therefore, with the aligner incorporating the illumination-light study equipment of this invention, since the homogeneity of an illuminance is securable good in the exposure side of the photosensitive substrate which is an irradiated plane, good high projection exposure of a throughput can be performed under good exposure conditions. Moreover, since projection exposure can be performed under good exposure conditions using the aligner of this invention, a good micro device can be manufactured.

[0019] The operation gestalt of this invention is explained based on an accompanying drawing. Drawing 1 is drawing showing roughly the configuration of the aligner equipped with the illumination-light study

equipment concerning the operation gestalt of this invention. In addition, in drawing 1, it is set up so that illumination-light study equipment may perform the usual circular lighting. The aligner of drawing 1 is equipped with the KrF excimer laser or ArF excimer laser which supplies wavelength (248nm or 193nm) of coherent light as the light source 1 for supplying exposure light (illumination light).

[0020] After being orthopedically operated by the flux of light which has the cross section of the shape of a desired rectangle through plastic surgery optical system (un-illustrating), incidence of the almost parallel flux of light injected in accordance with the criteria optical axis AX from the light source 1 is carried out to the optical delay section 2. The flux of light which carried out incidence to the optical delay section 2 in accordance with the optical axis AX is divided into the flux of light which penetrates a half mirror 200, and the flux of light reflected by the half mirror 200. The flux of light reflected by the half mirror 200 returns to a half mirror 200, after a sequential deviation is carried out in four reflective mirrors (un-illustrating) arranged so that the delay optical path of for example, a rectangle configuration may be formed.

[0021] The flux of light reflected by the half mirror 200 after passing through a delay optical path once is injected in accordance with the same optical axis AX as the flux of light which penetrated the half mirror 200, without passing through a delay optical path, and an optical-path-length difference equal to the optical path length of a delay optical path is given between the two flux of lights. In this way, the flux of light which carries out incidence in accordance with an optical axis AX by the optical delay section 2 is divided into two or more flux of lights in time, and an optical-path-length difference equal to the optical path length of a delay optical path is given between the two flux of lights which continue in time. Here, the optical-path-length difference given is set up more than the time coherence length of the flux of light from the source 1 of coherent light.

[0022] Therefore, a time coherency (coherency) can be reduced in the wave train divided by the optical delay section 2, and generating of the speckle-like interference fringe in an illuminated field can be suppressed good. In addition, in order to suppress generating of a speckle-like interference fringe still better, it is desirable to arrange the above optical delay sections to three steps in accordance with an optical axis AX. A configuration and an operation of this kind detailed to the pan about an optical delay means are indicated by for example, JP,1-198759,A, JP,11-174365,A and a Japanese-Patent-Application-No. No. 21591 [ 11 to ] specification, the drawing, etc.

[0023] Incidence of the flux of light divided into the incoherent multiplex pulse in time through the optical delay section 2 is carried out to the diffracted-light study component (DOE) 31. Generally, a diffracted-light study component is constituted by forming the level difference which has the pitch of wavelength extent of exposure light (illumination light) in a glass substrate, and has the operation which diffracts an incident beam at a desired include angle. Specifically, the diffracted-light study component 31 for circular lighting is changed into the emission flux of light which has the cross section of a circle configuration for the almost parallel flux of light of the shape of a rectangle which carried out incidence in accordance with the optical axis AX.

[0024] After the emission flux of light of the circle configuration through the diffracted-light study component 31 minds the zoom lens 4 as 1st capacitor optical system, incidence of it is carried out to the multi-light source means forming 5 which consisted of micro fly eyes 51 and 52 of a pair. In this way, the radiation field of a circle configuration is formed in the plane of incidence (namely, plane of incidence of the micro fly eye 51 by the side of the light source) of the multi-light source means forming 5. And the magnitude (namely, the diameter) of the radiation field of the circle configuration formed changes depending on the focal distance of a zoom lens 4.

[0025] In addition, in order to avoid that the plane of incidence of the micro fly eye 51 and the injection side of the micro fly eye 52 are polluted by photochemical reaction, the plane of incidence of the micro fly eye 51 and the injection side of the micro fly eye 52 are adjoined, and the plane-parallel plates 53 and 54 of a pair are arranged as cover glass, respectively. Therefore, what is necessary is to exchange only the cover glass 53 and 54 of a pair, without exchanging the micro fly eyes 51 and 52 of a pair, even if contamination by photochemical reaction takes place.

[0026] Drawing 2 is drawing showing the configuration of the multi-light source means forming of

drawing 1 , (a) is drawing showing the configuration of each micro fly eye seen in accordance with the optical axis AX, and (b) is drawing showing an operation and cross-section configuration of the micro fly eye of a pair. Each micro fly eyes 51 and 52 are optical elements which consist of a microlens element 500 which has the forward refractive power of the shape of a rectangle of a large number arranged in all directions and densely, as it has the same basic configuration mutually and is shown in drawing 2 (a) and (b). Each micro fly eyes 51 and 52 are constituted by performing etching processing to the parallel flat-surface glass plate 501 of a square configuration, and forming a microlens group in the field 502 of a circle configuration.

[0027] Generally, each microlens element which constitutes a micro fly eye is minuter than each lens element which constitutes a fly eye lens. Moreover, unlike the fly eye lens which consists of a lens element isolated mutually, the micro fly eye is formed in one, without isolating many microlens elements mutually. However, the micro fly eye is the same as a fly eye lens at the point that the lens element which has forward refractive power is arranged in all directions. In addition, there are also very few twists and the number of the microlens elements which constitute a micro fly eye for clear-izing of a drawing is actually expressed with drawing 1 and drawing 2 .

[0028] In this way, the flux of light which carried out incidence to the micro fly eyes 51 and 52 of a pair is divided by many microlens elements two-dimensional. And as a continuous line shows drawing 2 (b), the one light source is formed in a backside [ the synthetic optical system which consists of microlens elements 51a and 52a of a pair which correspond in accordance with an optical axis AX in the micro fly eyes 51 and 52 of a pair ] focal plane, respectively. In addition, as a broken line shows drawing 2 (b), it is constituted so that a before [ the micro fly eyes 51 and 52 of a pair ] side focal plane may be in agreement with the plane of incidence of the micro fly eye 51 by the side of the light source.

[0029] In this way, the a large number light source (henceforth the "secondary light source") of the same circle configuration as the radiation field formed in the plane of incidence of the micro fly eye 51 by the side of the light source is formed in a backside [ the micro fly eyes 51 and 52 of a pair ] focal plane. Thus, the micro fly eyes 51 and 52 of a pair constitute the multi-light source means forming 5 for constituting one wavefront-splitting mold optical integrator, as a result forming much light sources based on the flux of light from the light source 1.

[0030] Here, as for a zoom lens 4, it is desirable to cover the 3 times as many range as this, and to be constituted so that a focal distance may be changed continuously so that the before side focal plane and the diffraction side of the diffracted-light study component 31 may be in agreement and an after that side focal plane and the plane of incidence of the micro fly eye 51 may be in agreement. Therefore, as for a zoom lens 4, it is desirable to have three movable lens groups mutually-independent in accordance with an optical axis.

[0031] Incidence of the flux of light from the secondary light source of the circle configuration formed in the backside [ the micro fly eyes 51 and 52 of a pair ] focal plane is carried out to the tris diaphragm 6 arranged in the near. A tris diaphragm 6 is the lighting aperture diaphragm constituted so that the diameter of opening could be changed [ which was centered on the optical axis AX ] continuously, having opening (light transmission section) of a circle configuration mostly, and maintaining a circle configuration mostly.

[0032] in addition -- the diffracted light -- study -- a component -- 31 -- the illumination light -- a way -- receiving -- insertion and detachment -- free -- constituting -- having -- and -- the zona orbicularis -- deformation -- lighting -- \*\* -- the diffracted light -- study -- a component -- 32 -- four -- a pole -- deformation -- lighting -- \*\* -- the diffracted light -- study -- a component -- 33 -- a switch -- possible -- constituting -- having -- \*\*\*\* . Specifically, three diffracted-light study components 31-33 are supported on the turret (rotor plate) 300 pivotable to the circumference of a predetermined axis parallel to an optical axis AX. About an operation of the diffracted-light study component 32 for zona-orbicularis deformation lighting and the diffracted-light study component 33 for 4 pole deformation lighting, it mentions later.

[0033] Here, the switch between the diffracted-light study component 31 for circular lighting, the diffracted-light study component 32 for zona-orbicularis deformation lighting, and the diffracted-light



study component 33 for 4 pole deformation lighting is performed by the 1st drive system 22 which operates based on the command from a control system 21. Moreover, change of the focal distance of a zoom lens 4 is performed by the 2nd drive system 23 which operates based on the command from a control system 21. Furthermore, change of the diameter of opening of a tris diaphragm 6 is performed by the 3rd drive system 24 which operates based on the command from a control system 21.

[0034] The light from the secondary light source through the tris diaphragm 6 which has opening of a circle configuration illuminates a predetermined side [ \*\*\*\* ] in superposition optically with the mask 10 mentioned later, after receiving a condensing operation of the zoom lens 7 as 2nd capacitor optical system. In addition, a zoom lens 7 is a fsintheta lens, and it is constituted so that sine condition may be satisfied. In this way, the radiation field of the shape of a rectangle [ \*\*\*\* / the configuration of each microlens element which constitutes each micro fly eyes 51 and 52 ] is formed in this predetermined side. And rectangle-like the magnitude and Lighting NA of a radiation field which are formed in this predetermined side change depending on the focal distance of a zoom lens 7.

[0035] As for a zoom lens 7, it is desirable to be constituted so that a focal distance may be changed continuously so that the before side focal plane and a backside [ the micro fly eyes 51 and 52 of a pair ] focal plane may be in agreement and an after that side focal plane and an above-mentioned predetermined side may be in agreement. Therefore, as for a zoom lens 7, it is desirable like a zoom lens 4 to have three movable lens groups mutually-independent in accordance with an optical axis. In addition, change of the focal distance of a zoom lens 7 is performed by the 4th drive system 25 which operates based on the command from a control system 21.

[0036] In addition, the mask blind 8 as an illuminated viewing field diaphragm is optically arranged with the mask 10 in the predetermined side [ \*\*\*\* ]. The flux of light through opening (light transmission section) of the mask blind 8 carries out homogeneity lighting of the mask 10 with which the predetermined pattern was formed in superposition, after receiving a condensing operation of the relay optical system 9. In this way, the relay optical system 9 will form the image of opening of the shape of a rectangle of the mask blind 8 on a mask 10.

[0037] The flux of light which penetrated the pattern of a mask 10 forms the image of a mask pattern through projection optics 11 on the wafer (or plate) 12 which is a photosensitive substrate. In addition, the wafer 12 is held two-dimensional at the movable wafer stage 13 top in the flat surface which intersects perpendicularly with the optical axis AX of projection optics 11. In this way, the pattern of a mask 10 is serially exposed by each exposure field (shot field) of a wafer 12 by performing one-shot exposure or scanning exposure (scan exposure), carrying out drive control of the wafer 12 two-dimensional.

[0038] In addition, by the one-shot exposure method, a mask pattern is exposed in package to each exposure field of a wafer according to the so-called step-and-repeat method. In this case, the configuration of the lighting field on a mask 10 has the shape of a rectangle near a square, and turns into the shape of a rectangle also with the configuration of each microlens element of the micro fly eyes 51 and 52 of a pair near a square.

[0039] On the other hand, by the scanning exposure method, scanning exposure of the mask pattern is carried out to each exposure field of a wafer according to so-called step - and - scanning method, making a mask and a wafer displaced relatively to projection optics. In this case, the ratio of a shorter side and a long side has the shape of a rectangle of 1:3, and the configuration of the lighting field on a mask 10 turns into the shape of a rectangle [ \*\*\*\* / the configuration of each microlens element of the micro fly eyes 51 and 52 of a pair / this ].

[0040] With this operation gestalt, if the focal distance of a zoom lens 7 is changed, the lighting area size formed in the pattern side of a mask 10 and the exposure area size further formed in the exposure side of a wafer 12 will change. Moreover, the lighting NA in the pattern side of a mask 10 changes with change of the focal distance of a zoom lens 7. On the other hand, the lighting NA on a mask 10 changes, without the lighting area size formed in the pattern side of a mask 10 changing, if the focal distance of a zoom lens 4 is changed.

[0041] Therefore, with this operation gestalt, by setting the focal distance of a zoom lens 7 as a

predetermined value, if obtaining the lighting field of desired magnitude on a mask 10 pulls, it can obtain the exposure field of desired magnitude on a wafer 12. Moreover, by setting the focal distance of a zoom lens 4 as a predetermined value to the focal distance of the zoom lens 7 set as the predetermined value, if obtaining the lighting NA of desired magnitude on a mask 10 pulls, it can set up or adjust to a desired sigma value.

[0042] furthermore -- having mentioned above -- as -- the diffracted light -- study -- a component -- 31 -- the illumination light -- a way -- receiving -- insertion and detachment -- free -- constituting -- having -- and -- the zona orbicularis -- deformation -- lighting -- \*\* -- the diffracted light -- study -- a component -- 32 -- four -- a pole -- deformation -- lighting -- \*\* -- the diffracted light -- study -- a component -- 33 -- a switch -- possible -- constituting -- having -- \*\*\*\* . By replacing with the diffracted-light study component 31, and setting up the diffracted-light study components 32 and 33 all over an illumination-light way hereafter, explains the zona-orbicularis deformation lighting and 4 pole deformation lighting which are obtained, respectively.

[0043] The diffracted-light study component 32 for zona-orbicularis deformation lighting changes into the zona-orbicularis-like emission flux of light the parallel flux of light of the rectangle cross section which carries out incidence in accordance with an optical axis AX. After the emission flux of light of the shape of zona orbicularis through the diffracted-light study component 32 minds a zoom lens 4, incidence of it is carried out to the micro fly eyes 51 and 52 of a pair. In this way, a zona-orbicularis-like radiation field is formed in the plane of incidence of the micro fly eye 51 by the side of the light source. Consequently, the secondary light source of the shape of same zona orbicularis as the radiation field formed in the plane of incidence of the micro fly eye 51 by the side of the light source is formed in a backside [ the micro fly eyes 51 and 52 of a pair ] focal plane, and zona-orbicularis deformation lighting can be performed based on the flux of light from the secondary light source of the shape of this zona orbicularis.

[0044] On the other hand, the diffracted-light study component 33 for 4 pole deformation lighting changes into the 4 pole-like emission flux of light the parallel flux of light of the rectangle cross section which carries out incidence in accordance with an optical axis AX. After the emission flux of light of the shape of 4 poles through the diffracted-light study component 33 minds a zoom lens 4, incidence of it is carried out to the micro fly eyes 51 and 52 of a pair. In this way, a 4 pole-like radiation field is formed in the plane of incidence of the micro fly eye 51 by the side of the light source. Consequently, the secondary light source of the shape of same 4 poles as the radiation field formed in the plane of incidence of the micro fly eye 51 by the side of the light source is formed in a backside [ the micro fly eyes 51 and 52 of a pair ] focal plane, and 4 pole deformation lighting can be performed based on the flux of light from the secondary light source of the shape of these 4 poles.

[0045] In addition, in drawing 2 (a), the diameter of the field 502 of a circle configuration in which the microlens element 500 is formed is prescribed to correspond to the maximum sigma value which should be set up, for example, is set as about 86mm. Therefore, about the size of the microlens element 500, if it sets up with 0.54mmx0.2mm, the effective number of the microlens element 500 formed in the field 502 of a circle configuration will become about 50,000 pieces. In this case, since the very big wavefront-splitting effectiveness is acquired in the multi-light source means forming 5, generating of the illuminance nonuniformity on the mask 10 which is an irradiated plane, or a wafer 12 can be reduced. Consequently, even if it switches lighting conditions (modification of lighting parameters, such as a switch with circular lighting, zona-orbicularis deformation lighting, and 4 pole deformation lighting, lighting area size, and a sigma value, etc.), fluctuation of illuminance nonuniformity and change of telecentricity can be suppressed very small.

[0046] Since the very big wavefront-splitting effectiveness is acquired in the multi-light source means forming 5 and the continuity of the profile of the secondary light source of the shape of the shape of zona orbicularis and 4 poles improves on the occasion of zona-orbicularis deformation lighting or 4 pole deformation lighting, it becomes unnecessary moreover, to arrange the lighting aperture diaphragm which has zona-orbicularis-like opening and 4 pole-like (shape of multipole [ Generally ]) opening in the location of a tris diaphragm 6. Namely, what is necessary is just to change the diameter of opening

of a tris diaphragm 6 if needed, and to interrupt the excessive flux of lights, such as flare light, without performing a switch with a circular aperture diaphragm, a zona-orbicularis-like aperture diaphragm, and a 4 pole-like aperture diaphragm in linkage like the conventional technique, even if it performs a switch with circular lighting, zona-orbicularis deformation lighting, and 4 pole deformation lighting. If it puts in another way, arrangement of the lighting aperture diaphragm called the so-called sigma diaphragm can be omitted, and a configuration can be simplified.

[0047] In addition, in this operation gestalt, in order to acquire sufficient wavefront-splitting effectiveness, it is desirable that the effective number of the microlens element which constitutes one micro fly eye is thousands of or more pieces. In order to heighten the wavefront-splitting effectiveness furthermore, it is desirable that the effective number of a microlens element is tens of thousands of or more pieces. Here, the effective number of the microlens element which constitutes one micro fly eye corresponds to the effective number of synthetic optical system, as a result supports the number of wavefront splitting of the multi-light source means forming 5.

[0048] By the way, it is important to carry out alignment of the microlens element of a pair which the multi-light source means forming 5 is constituted from this operation gestalt by the micro fly eyes 51 and 52 of a pair, and should correspond in accordance with an optical axis AX since the size and the focal distance of each microlens element are very small mutually, i.e., to carry out alignment of the micro fly eyes 51 and 52 of a pair mutually. It is necessary to carry out alignment of the microlens element of a pair which should correspond, without [ without it specifically carries out an advancing-side-by-side location gap two-dimensional into the field which intersects perpendicularly with an optical axis AX, and ] carrying out a rotation location gap into the field which intersects perpendicularly with an optical axis AX at the circumference of an optical axis AX.

[0049] With this operation gestalt, as shown in drawing 2 (a), four alignment marks 503 are formed in the micro fly eyes 51 and 52 as an alignment means with the micro fly eyes 51 and 52 of a pair, respectively. Four alignment marks 503 are formed in the location corresponding to four square angles by vapor-depositing chromium on the outside of the field 502 of a circle configuration in which many microlens elements 500 were formed. Each alignment mark 503 has the location precision of about 1 micrometer, and is formed, and the magnitude is about 2mm.

[0050] Thus, the micro fly eyes 51 and 52 in which the alignment mark 503 was formed are supported by the attachment component 504 as shown in drawing 3, and are positioned in the condition of having been attached all over the illumination-light way at another attachment component (un-illustrating). Opening 504a of the circle configuration corresponding to the field 502 of a circle configuration and opening 504b of four circle configurations corresponding to four alignment marks 503 are formed in the attachment component 504. Moreover, the drive system 505 which consisted of two or more micrometers is connected to the attachment component 504. And according to an operation of this drive system 505, while carrying out minute migration of the attachment component 504 positioned all over the illumination-light way along the direction of X, and the direction of Y, respectively, minute rotation of it is carried out at the circumference of an optical axis AX.

[0051] On the occasion of alignment with the micro fly eyes 51 and 52 of a pair, four alignment marks formed in four alignment marks and the micro fly eye 52 which were formed in the micro fly eye 51 are observed through viewing or a magnifier, a microscope, etc. And at least one side of the attachment components of a pair is made to move slightly by the drive system 505 so that a corresponding alignment mark may be in agreement along the optical-axis AX direction. In this way, alignment of the microlens element of a pair which should correspond in accordance with carrying out alignment of the micro fly eyes 51 and 52 of a pair mutually, as a result an optical axis AX can be carried out mutually. In addition, it is good also as movable in the both sides of the attachment component 504 of a pair, and one side of the attachment component 504 of a pair is made movable, and it is good also considering another side as immobilization.

[0052] In addition, how to observe a location gap of the microlens element of a pair which corresponds as other alignment approaches using an angle measuring equipment like an autocollimator can be considered. By this approach, after initializing an autocollimator in the condition of not inserting the

micro fly eyes 51 and 52 of a pair all over an illumination-light way, the micro fly eyes 51 and 52 of a pair are inserted all over an illumination-light way, and alignment is performed based on the transmitted light flux of the microlens element of a pair. Moreover, the method of performing alignment is also considered by reading a location gap of the microlens element of a pair which observes the transmitted light flux of the microlens element of a pair under a microscope etc., and is observed within the visual field.

[0053] By the way, if the number of wavefront splitting is increased by setting up small the size of each microlens element which constitutes the micro fly eyes 51 and 52 as mentioned above, the spatial coherency of two light through two adjoining microlens elements will become high, and a speckle-like interference fringe will occur on a mask 10 and a wafer 12, as a result the homogeneity of illumination distribution will get worse. So, in order to suppress homogeneous aggravation of the illumination distribution resulting from a speckle-like interference fringe good, two kinds of microlens elements with which optical thickness differs in accordance with an optical axis AX constitute the micro fly eye 51 by the side of the light source from this operation gestalt.

[0054] The difference of the optical thickness of two kinds of microlens elements is set up so that the phase contrast between the light through the small microlens element of optical thickness and the light through the large microlens element of optical thickness may specifically become 180 degrees in a backside [ an optical integrator (51 52) ] focus. For example, when using an ArF excimer laser for the light source 1 and using the same optical material (a quartz or fluorite) as each microlens element which constitutes the micro fly eye 51, the difference of the thickness of two kinds of microlens elements is set up about 0.2 micrometers or odd times (3 times, 5 times, ..) of those. In addition, even if it sets up the thickness of each microlens element uniformly by using the optical material (a single optical material or compound optical material) with which refractive indexes differ for two kinds of microlens elements which constitute the micro fly eye 51 depending on the case, the difference of desired optical thickness is securable among two kinds of microlens elements.

[0055] Drawing 4 is drawing showing the example of arrangement of two kinds of microlens elements which constitute the micro fly eye by the side of the light source of drawing 1. In drawing 4, the slash section shows the small microlens element of optical thickness, and the null section shows the large microlens element of optical thickness. In the example of arrangement of drawing 4, the combination which the equal microlens element of optical thickness adjoins mutually, and the combination which the microlens element with which optical thickness differs adjoins mutually have the same number along 4 of each horizontal direction, each vertical direction, and the direction of each set angle (the direction of upward-slant-to-the-right slant, and the direction of left riser slant) directions.

[0056] Here, the light through two equal adjoining microlens elements of optical thickness forms a speckle-like interference fringe on the mask 10 which is an irradiated plane, and a wafer 12. Since only the short optical-path-length difference (for example, 1/10 or less optical-path-length difference of time coherence length) is given more substantially than time coherence length, the light which, on the other hand, minded two adjoining microlens elements from which optical thickness differs also forms a speckle-like interference fringe on a mask 10 and a wafer 12. However, a phase will shift in the speckle-like interference fringe which the light, i.e., the light of an opposite phase, through two adjoining microlens elements in which optical thickness differs from the speckle-like interference fringe to form, the light, i.e., a light in phase, through two equal adjoining microlens elements of optical thickness, forms.

[0057] Consequently, two speckle-like interference fringes from which a phase differs mutually overlap, each other is offset mutually, and the contrast of a synthetic interference fringe is reduced. According to the example of arrangement especially shown in drawing 4, as mentioned above, the combination which the equal microlens element of optical thickness adjoins mutually, and the combination which the microlens element with which optical thickness differs adjoins mutually have the same number along four directions. Therefore, homogeneous aggravation of the illumination distribution which originates in the maximum at a speckle-like interference fringe using the phase bactericidal action of two speckle-like interference fringes from which a phase differs mutually can be suppressed good.

[0058] Drawing 5 is drawing showing another example of arrangement of two kinds of microlens elements which constitute the micro fly eye by the side of the light source of drawing 1. Also in drawing 5, the slash section shows the small microlens element of optical thickness, and the null section shows the large microlens element of optical thickness. In the example of arrangement of drawing 5, although the combination which the equal microlens element of optical thickness adjoins mutually, and the combination which the microlens element with which optical thickness differs adjoins mutually are not the same number even if it meets which direction among four directions, on the whole, it is quite equal along each direction.

[0059] Therefore, in the example of arrangement of drawing 5 as well as the case of the example of arrangement of drawing 4, homogeneous aggravation of the illumination distribution resulting from a speckle-like interference fringe can be suppressed good using the phase bactericidal action of two speckle-like interference fringes from which a phase differs mutually. Moreover, the whole arrangement pattern is very regular, and is simple, and manufacture of the micro fly eye 51 is easy. In addition, although illustration was omitted, homogeneous aggravation of the illumination distribution resulting from a speckle-like interference fringe can be suppressed good using the phase bactericidal action of two speckle-like interference fringes from which a phase differs mutually like the case of the example of arrangement of drawing 4, and the example of arrangement of drawing 5 by arranging at random two kinds of microlens elements with which optical thickness differs.

[0060] As mentioned above, while the micro fly eye 51 constitutes a part of multi-light source means forming 5 from this operation gestalt The phase contrast grant means for giving predetermined phase contrast between the flux of light of the 1st group and the flux of light of the 2nd group is constituted by giving a short optical-path-length difference more substantially than time coherence length between the flux of light of the 1st group which forms the light source of the 1st group, and the flux of light of the 2nd group which forms the light source of the 2nd group. Consequently, with this operation gestalt, while reducing illuminance nonuniformity, for example, in order to raise the continuity of the profile of the secondary light source, even if it increases the number of wavefront splitting, homogeneous aggravation of the illumination distribution resulting from a speckle-like interference fringe can be suppressed good using the phase bactericidal action of two speckle-like interference fringes from which a phase differs mutually.

[0061] In addition, although the difference of the optical thickness of two kinds of microlens elements is set up with the above-mentioned operation gestalt so that phase contrast may become 180 degrees, the effectiveness of this invention can be acquired by setting up the difference of the optical thickness of two kinds of microlens elements so that phases may differ substantially mutually, without being limited to this.

[0062] Moreover, although the micro fly eye 51 by the side of the light source constitutes the phase contrast grant means from an above-mentioned operation gestalt, a phase contrast grant means can also consist of micro fly eyes 52 by the side of an irradiated plane, without being limited to this. Furthermore, a phase contrast grant means can be constituted from both micro fly eyes 51 and 52, or a phase contrast grant means can also consist of cover glass 53 or 54. Generally, a phase contrast grant means can consist of at least one optical member in the micro fly eye 51, the micro fly eye 52, cover glass 53, and cover glass 54.

[0063] When it constitutes a phase contrast grant means from cover glass 53, and when it constitutes a phase contrast grant means from two or more optical members containing cover glass 53, for example, cover glass 53 It is formed so that it may have the minute field of the 1st group through which the flux of light of the 1st above-mentioned group passes, and the minute field of the 2nd group through which the flux of light of the 2nd above-mentioned group passes and may have the optical thickness from which the minute field of the 1st group and the minute field of the 2nd group differ mutually in accordance with an optical axis. A paraphrase will form cover glass 53 as the so-called phase plate. According to this viewpoint, a phase contrast grant means can also consist of other phase plates arranged all over an illumination-light way.

[0064] Furthermore, although two kinds of microlens elements with which optical thickness differs

constitute the micro fly eye 51 from the above-mentioned operation gestalt, about the number of classes of the microlens element which constitutes micro fly, it can also be set or more as three. Therefore, also in a phase plate, three or more kinds of minute fields where optical thickness differs can also be formed. In this case, the many light sources formed of the micro fly eye (micro-lens array) 51 It has the light source group of the 1st group - the 3rd group. Between the flux of light of the 1st group, and the flux of lights of the 2nd group, So that only the respectively same amount may give phase contrast (phase contrast of 120 degrees) between the flux of light of the 1st group, and the flux of lights of the 3rd group, and to between the flux of light of the 3rd group, and the flux of lights of the 2nd group As for the micro fly eye 51, it is [ the configuration which has three sorts of very small lenses with which optical thickness differs, or a phase plate ] desirable to consider as the configuration which has three sorts of very small fields where optical thickness differs. As for the maximum of the optical optical-path-length difference in the micro fly eye 51 whole given when the optical thickness of three sorts of very small lenses differs, at this time, it is much more desirable that it is  $1/10$  or less [ of the time coherence length of the flux of light ]. As for the maximum of the optical optical-path-length difference in the whole phase plate which similarly is given when the optical thickness of three sorts of very small fields differs with a phase plate, it is much more desirable that it is  $1/10$  or less [ of question-coherence length ] at the time of the flux of light.

[0065] When the above thing is generally said, the many light sources formed of the micro fly eye (micro-lens array) 51 have the light source group of the 1st group - the Nth group here. So that only the respectively same amount may give phase contrast (phase contrast of whenever [  $360/N$  ]) to the combination of the flux of light between the flux of light of the N-1st groups, and the flux of light of the Nth group It is desirable to constitute from a very small field of N kind in which optical thickness differs a configuration or a phase plate with the very small lens of N kind with which optical thickness differs a micro fly eye. However, N is two or more integers. At this time, it cannot be overemphasized that it is much more desirable that it is  $1/10$  or less [ of the time coherence length of the flux of light ] as for the maximum of the optical optical-path-length difference in the whole maximum or the whole phase plate of an optical optical-path-length difference in the micro fly eye 51 whole. In addition, it is desirable to make the class of very small lens with which the optical thickness which constitutes a micro fly eye differs, or the class of very small field where the optical thickness which constitutes a phase plate differs increase as the magnitude of the lens element of a large number which constitute the micro fly eye 51 becomes small. By this, it can do [ acquiring much more effectiveness enough or ] rather than being based on this invention.

[0066] Moreover, although two kinds of microlens elements with which optical thickness differs constitute the micro fly eye 51 from the above-mentioned operation gestalt, it can also set up so that it may have the focal distance from which two kinds of this microlens element differs mutually. In this case, the light through the comparatively long microlens element of a focal distance will differ in the lighting area size formed on the mask 10 which is an irradiated plane from the light through the comparatively short microlens element of a focal distance. Consequently, it becomes possible to control the illumination distribution in the circumference of a lighting field through two or more kinds of microlens elements which have a mutually different focal distance. In addition, the micro fly eye 52 by the side of an irradiated plane may be constituted from two kinds of microlens elements which have a mutually different focal distance, and both micro fly eyes 51 and 52 may consist of two kinds of microlens elements which have a mutually different focal distance.

[0067] Furthermore, although two kinds of microlens elements with which optical thickness differs constitute the micro fly eye 51 from the above-mentioned operation gestalt, as shown, for example in drawing 6, it can also set up so that two kinds of this microlens element may have the plane of incidence from which magnitude differs mutually. In this case, since the plane of incidence of the microlens element which constitutes the micro fly eye 51 is optically arranged with the irradiated plane conjugate, the light through the comparatively large microlens element of plane of incidence will differ in the lighting area size formed on the mask 10 which is an irradiated plane from the light through the comparatively small microlens element of plane of incidence. Consequently, it becomes possible to



control the illumination distribution in the circumference of a lighting field through two or more kinds of microlens elements which have the plane of incidence from which magnitude differs mutually. [0068] Moreover, it is known for illumination-light study equipment like this operation gestalt that will originate in the include-angle property of the antireflection film given to each lens which constitutes the zoom lens 7 as capacitor optical system etc., and illuminance nonuniformity will occur. Here, an antireflection film vapor-deposits the thin film of the dielectric of two or more sheets on a lens front face, and is formed in it, amplitude splitting of the reflected light is carried out, and the reflected light is erased by shifting the phase of much light and making it interfere. Since it is controlled by membranous thickness, if whenever [ incident angle / of the flux of light ] differ, a difference will generate how to shift a phase in the effectiveness of acid resisting. Generally by the optical system which uses a lens, the beam of light which penetrates the lens circumference bends more greatly, and an incident angle is large. On the other hand, since the antireflection film is designed to vertical incidence, light with a larger incident angle is easy to be reflected. Consequently, an illuminance serves as the inclination to fall in the shape of second [ about ] curve, so that image quantity is large in an irradiated plane, namely, as it separates from an optical axis.

[0069] With this operation gestalt, the illuminance nonuniformity which originates in the include-angle property of an above-mentioned antireflection film etc., and is generated can be amended by arranging the filter with which the dot pattern of chromium was formed in the field by the side of the irradiated plane of cover glass 53. Here, the dot pattern formed in the field of the shape of a minute rectangle corresponding to the plane of incidence of each microlens element which constitutes the micro fly eye 51 by the side of the light source is constituted so that the permeability of the core may be the smallest and permeability may increase gradually toward the circumference. It is necessary to carry out alignment of the minute dot pattern field of the shape of a rectangle formed in cover glass 53 also in this case, and each microlens element of the micro fly eye 51 by the side of the light source. This alignment can be performed like the alignment of the micro fly eye of a pair by forming in cover glass 53 the alignment mark mentioned above.

[0070] In addition, an above-mentioned filter can be optically arranged near the field [ \*\*\*\* ] with an irradiated plane, without being limited to the plane of incidence of the micro fly eye 51 by the side of the light source. Moreover, an above-mentioned dot pattern can also be directly formed in the plane of incidence of each microlens element which constitutes the micro fly eye 51 by the side of the light source. Moreover, above-mentioned illuminance nonuniformity can be amended by replacing with the cover glass 53 with which the dot pattern was formed, and arranging the filter with which permeability differs according to an incident angle to the pupil position (for example, the location or its conjugation side of a tris diaphragm 6) of illumination-light study equipment.

[0071] Furthermore, how to amend above-mentioned illuminance nonuniformity is also considered by moving some lenses in the direction of an optical axis among two or more lenses which constitute the zoom lens 7 as capacitor optical system. However, many aberration like distortion (distortion aberration) not only occurs, but by this approach, lighting parameters, such as a sigma value, will change with change of the focal distance of a zoom lens 7. Moreover, as mentioned above, illuminance nonuniformity may be slightly changed with a switch of lighting conditions. In this case, on the occasion of a switch of lighting conditions, fluctuation of illuminance nonuniformity can also be amended by performing a switch of an above-mentioned filter etc.

[0072] In addition, in an above-mentioned operation gestalt, although the micro fly eye of the arranged pair which separated spacing constitutes multi-light source means forming, at least two arranged optical element bundles which generally separated spacing can also constitute multi-light source means forming. Here, an optical element bundle is a concept containing the 2-dimensional array of a lens side, or the 2-dimensional array of a reflector. Moreover, in an above-mentioned operation gestalt, although the micro fly eye is formed by etching processing, a micro fly eye can also be formed, for example by the indentation method or the grinding method.

[0073] Furthermore, in an above-mentioned operation gestalt, although the micro fly eye of a pair separates air spacing and is arranged, the spacing space can also be filled with inert gas or optical glass.



In addition, when using the light source which supplies ultraviolet radiation shorter than predetermined wavelength, it is desirable to form a wavefront-splitting mold optical integrator using quartz glass or fluorite. Moreover, in an above-mentioned operation gestalt, although the micro fly eye is used as a wavefront-splitting mold optical integrator, a wavefront-splitting mold optical integrator like a fly eye lens can also be used, for example. In this case, in order to acquire sufficient wavefront-splitting effectiveness, it is desirable to constitute a fly eye lens from a sufficient number of lens elements.

[0074] Furthermore, in an above-mentioned operation gestalt, although it constitutes so that a diffracted-light study component may be positioned all over an illumination-light way by the turret method, an above-mentioned diffracted-light study component can also be switched, for example using a well-known slider style. By the way, the detailed explanation about the diffracted-light study component which can be used by this invention is indicated by the U.S. Pat. No. 5,850,300 official report etc. Moreover, with an above-mentioned operation gestalt, although the diffracted-light study component is used as an optical intensity-distribution modification means, a wavefront-splitting mold optical integrator like a fly eye lens or a micro fly eye can also be used, for example.

[0075] Furthermore, with the above-mentioned operation gestalt, after it once forms a radiation field in a mask 10 and a predetermined side [ \*\*\*\* ] and the mask blind 8 restricts the flux of light from this radiation field, the radiation field is formed on a mask 10 through the relay optical system 9. However, the configuration which forms a radiation field directly on the mask 10 which omitted the relay optical system 9 and has been arranged in the location of the mask blind 8 through a zoom lens 7 is also possible. Moreover, although the above-mentioned operation gestalt shows the example which forms the secondary 4 pole-like light source, the secondary 2 pole (the 2nd)-like light source or the secondary light source of the shape of a multipole like the shape of 8 poles (the 8th) can also be formed, for example.

[0076] Drawing 7 is drawing showing roughly the important section configuration of the modification of the operation gestalt shown in drawing 1. The modification of drawing 7 has a configuration similar to the operation gestalt shown in drawing 1. However, although the micro fly eyes 51 and 52 of a pair are used as an optical integrator with the operation gestalt of drawing 1, it is fundamentally different in the modification of drawing 7 to use the rod-like optical integrator (henceforth a "rod-like integrator") of an internal reflection mold as an optical integrator. In addition, in drawing 7, for clear-izing of a drawing, only the important section configuration from the diffracted-light study component 31 (32 33) to a mask 10 is shown, and illustration of other components is omitted. Hereafter, the modification of drawing 7 is explained paying attention to difference with the operation gestalt of drawing 1.

[0077] In the modification of drawing 7, corresponding to replacing with the micro fly eyes 51 and 52 of a pair, and using the rod-like integrator 71, the relay lens 72 was attached into the optical path between a zoom lens 4 and the rod-like integrator 71, and the tris diaphragm 6, the zoom lens 7, and the mask blind 8 are removed. Here, the zoom lens 4 and the relay lens 72 arrange optically the diffraction side of the diffracted-light study component 31 (32 33), and the plane of incidence of the rod-like integrator 71 to conjugate. Moreover, the relay optical system 9 arranges optically the injection side of the rod-like integrator 71, and the pattern side of a mask 10 to conjugate.

[0078] The rod-like integrator 71 is the glass rod of the internal reflection mold which consists of a glass ingredient like quartz glass or fluorite, and forms the light source image of the number according to the number of internal reflection along a field parallel to rod plane of incidence through a condensing point using total reflection, the interface, i.e., the inside, of the interior and the exterior. Here, although most light source images formed are virtual images, only a central (condensing point) light source image turns into a real image. That is, the flux of light which carried out incidence to the rod-like integrator 71 is divided in the include-angle direction by internal reflection, and many light source images are formed along a field parallel to the plane of incidence through a condensing point. The flux of light from the light source image of a large number formed in the incidence side by the rod-like integrator 71 illuminates a mask 10 in superposition through the relay optical system 9, after being superimposed in the injection side.

[0079] By the way, when the number of internal reflection in the rod-like integrator 71 is set up greatly (that is, the number of the light sources formed is set up greatly), the spatial coherency of the light from

the two adjoining light sources becomes high, and a speckle-like interference fringe occurs on a mask 10 and a wafer 12, as a result the homogeneity of illumination distribution gets worse. So, in the modification of drawing 7, the phase plate 73 as a phase contrast grant means is arranged in the optical path between a zoom lens 4 and a relay lens 72 in the backside [ a zoom lens 4 ] focal location (namely, before [ a relay lens 72 ] side focal location).

[0080] When it follows, for example, the diffracted-light study component 31 for circular lighting is installed in the illumination-light way, the light through the diffracted-light study component 31 and a zoom lens 4 serves as the flux of light of a circle configuration, and carries out incidence to a phase plate 73. A phase plate 73 gives predetermined phase contrast between the flux of light of the 1st group, and the flux of light of the 2nd group by giving a short optical-path-length difference more substantially than time coherence length between the flux of light of the 1st group which forms the light source of the 1st group among the light sources of a large number formed in the rod-like integrator 71, and the flux of light of the 2nd group which forms the light source of the 2nd group.

[0081] Specifically, the phase plate 73 is formed so that it may have the minute field of the 1st group through which the flux of light of the 1st above-mentioned group passes, and the minute field of the 2nd group through which the flux of light of the 2nd above-mentioned group passes like the phase plate in an above-mentioned operation gestalt and may have the optical thickness from which the minute field of the 1st group and the minute field of the 2nd group differ mutually in accordance with an optical axis. Consequently, while reducing illuminance nonuniformity, in order to raise the continuity of the profile of the secondary light source like the operation gestalt of drawing 1, even if it increases the number of internal reflection, homogeneous aggravation of the illumination distribution resulting from a speckle-like interference fringe can be suppressed good using the phase bactericidal action of two speckle-like interference fringes from which a phase differs mutually.

[0082] In the aligner concerning an above-mentioned operation gestalt (a modification is included), a mask (or reticle) can be illuminated with illumination-light study equipment (lighting process), and micro devices (a semiconductor device, an image sensor, a liquid crystal display component, thin film magnetic head, etc.) can be manufactured by what (exposure process) the pattern for an imprint formed in the mask using projection optics is exposed for to a photosensitive substrate. Hereafter, by forming a predetermined circuit pattern in the wafer as a photosensitive substrate etc. using the aligner of an above-mentioned operation gestalt explains with reference to the flow chart of drawing 8 per example of the technique at the time of obtaining the semiconductor device as a micro device.

[0083] First, in step 301 of drawing 8, a metal membrane is vapor-deposited on the wafer of one lot. In the following step 302, a photoresist is applied on the metal membrane on the wafer of the 1 lot. Then, in step 303, the sequential exposure imprint of the image of the pattern on a mask is carried out to each shot field on the wafer of the one lot through the projection optics (projection optics module) using the aligner of an above-mentioned operation gestalt. Then, in step 304, after development of the photoresist on the wafer of the one lot is performed, in step 305, the circuit pattern corresponding to the pattern on a mask is formed in each shot field on each wafer by etching by using a resist pattern as a mask on the wafer of the one lot. Then, devices, such as a semiconductor device, are manufactured by performing formation of the circuit pattern of the upper layer etc. further. According to the above-mentioned semiconductor device manufacture approach, the semiconductor device which has a very detailed circuit pattern can be obtained with a sufficient throughput.

[0084] Moreover, in the aligner of an above-mentioned operation gestalt, the liquid crystal display component as a micro device can also be obtained by forming predetermined patterns (a circuit pattern, electrode pattern, etc.) on a plate (glass substrate). Hereafter, with reference to the flow chart of drawing 9, it explains per example of the technique at this time. In drawing 9, the so-called optical lithography process which carries out imprint exposure of the pattern of a mask at photosensitive substrates (glass substrate with which the resist was applied) is performed at the pattern formation process 401 using the aligner of each operation gestalt. Of this optical lithography process, the predetermined pattern containing many electrodes etc. is formed on a photosensitive substrate. Then, by passing through each process, such as a development process, an etching process, and a reticle exfoliation process, a

predetermined pattern is formed on a substrate and the exposed substrate shifts to the following color filter formation process 402.

[0085] Next, in the color filter formation process 402, many groups of three dots corresponding to R (Red), G (Green), and B (Blue) are arranged in the shape of a matrix, or form the color filter which arranged the group of three filters, R, G, and B, of a stripe in the direction of two or more horizontal scanning line. And 403 is performed for a cel assembler after the color filter formation process 402. A cel assembler assembles a liquid crystal panel (liquid crystal cell) in 403 using the substrate which has the predetermined pattern obtained at the pattern formation process 401, the color filter obtained with the color filter formation process 402. In 403, a cel assembler pours in liquid crystal between the substrate which has the predetermined pattern obtained at the pattern formation process 401, for example, and the color filter obtained with the color filter formation process 402, and manufactures a liquid crystal panel (liquid crystal cell).

[0086] Then, a module assembler attaches each part articles in which the display action of the assembled liquid crystal panel (liquid crystal cell) is made to perform, such as an electrical circuit and a back light, and makes it complete as a liquid crystal display component in 404. According to the manufacture approach of an above-mentioned liquid crystal display component, the liquid crystal display component which has a very detailed circuit pattern can be obtained with a sufficient throughput.

[0087] By the way, in an above-mentioned operation gestalt and an above-mentioned modification, although KrF excimer laser (wavelength: 248nm) and ArF excimer laser (wavelength: 193nm) are used as the light source, this invention is applicable also to the suitable light source which supplies other wavelength light containing g line or i line. Moreover, although an above-mentioned operation gestalt and an above-mentioned modification explained this invention taking the case of the aligner equipped with illumination-light study equipment, it is clear that this invention is applicable to the common illumination-light study equipment for carrying out homogeneity lighting of the irradiated planes other than a mask.

[0088]

[Effect of the Invention] As explained above, while reducing illuminance nonuniformity, for example, in order to raise the continuity of the profile of the secondary light source, even if it increases the number of wavefront splitting, with the illumination-light study equipment of this invention, homogeneous aggravation of the illumination distribution resulting from a speckle-like interference fringe can be suppressed good using the phase bactericidal action of two speckle-like interference fringes from which a phase differs mutually.

[0089] Therefore, with the aligner incorporating the illumination-light study equipment of this invention, since the homogeneity of an illuminance is securable good in the exposure side of the photosensitive substrate which is an irradiated plane, good high projection exposure of a throughput can be performed under good exposure conditions. Moreover, since projection exposure can be performed under good exposure conditions using the aligner of this invention, a good micro device can be manufactured.

---

[Translation done.]